



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK
PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS *GAS TURBINE*
PLTG PERAK SURABAYA**

ARGHA
NRP. 3114 105 008

Dosen Pembimbing I
Ir. Suwarno, M.Eng.

Dosen Pembimbing II
Ir. Ananta Sigit Sidharta, M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK
PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS *GAS TURBINE*
PLTG PERAK SURABAYA**

ARGHA
NRP. 3114 105 008

Dosen Pembimbing I
Ir. Suwarno, M.Eng.

Dosen Pembimbing II
Ir. Ananta Sigit Sidharta, M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RC14-1501

**SOFT SOIL IMPROVEMENT IN DYNAMIC FOUNDATION
PROJECT OF GAS TURBINE POWER PLANT
PERAK SURABAYA**

ARGHA
NRP. 3114 105 008

Supervisor I
Ir. Suwarno, M.Eng.

Supervisor II
Ir. Ananta Sigit Sidharta, M.Sc., Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK
PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS GAS
TURBINE PLTG PERAK SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARGHA

NRP. 3114 105 008

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I

1. Ir. Suwarno, M.Eng

Pembimbing II

2. Ir. Ananta Sigit S., MSc, PhD



**SURABAYA
JUNI, 2016**

PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS GAS TURBINE PLTG PERAK SURABAYA

Nama Mahasiswa : Argha
NRP : 3114 105 008
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir.Suwarno, M.Eng
2. Ir.Ananta Sigit S., M.Sc., Ph.D

Abstrak

Beban dinamis merupakan problem yang kompleks karena merupakan perpaduan dari struktur, geoteknik dan teori getaran. Konstruksi dari pondasi mesin bergantung pada ahli geoteknik dan data mesin. Pembangunan pondasi dinamis gas turbin PLTG Perak Surabaya berada diatas tanah lunak sesuai dengan hasil uji SPT menunjukkan kedalaman tanah kepadatan menengah (nilai SPT 8) berada pada kedalaman 9 m dan kedalaman tanah keras (nilai SPT 25) berada pada kedalaman 26 m sehingga muncul alternatif pondasi antara pondasi dangkal dengan perbaikan daya dukung tanah atau pondasi dalam tanpa perbaikan daya dukung tanah.

Perbaikan tanah diawali dengan memampatkan tanah menggunakan metode preloading yaitu metode penimbunan tanah dasar untuk mempercepat terjadinya pemampatan yang diprediksi. Apabila durasi pemampatan masih membutuhkan waktu yang sangat lama, timbunan diberi Prefabricated Vertical Drain. Hasil akhir dari metode preloading adalah peningkatan daya dukung tanah dengan indikasi meningkatnya nilai tegangan tanah efektif (σ_p') yang dipakai untuk mencari C_u sebagai parameter kekuatan daya dukung tanah dasar. Setelah dilakukan pemampatan tanah, dilakukan analisis kestabilan pada tubuh timbunan dengan parameter kestabilan jika Safety Factor >1 . Apabila kestabilan tidak tercapai, diperlukan adanya upaya perkuatan menggunakan

geotekstile. Setelah perbaikan tanah selesai dilakukan, kemudian mendesain pondasi yang aman untuk turbin gas. Parameter keamanan pondasi yaitu batasan amplitudo vertikal dalam tugas akhir ini dipilih pada zona “Not Noticeable to Persons”.

Hasil akhir tugas ini menyimpulkan bahwa pembuatan pondasi dinamis gas turbine tipe dangkal dengan perbaikan tanah akan lebih mahal daripada pembuatan pondasi dinamis gas turbine tipe dalam tanpa perbaikan tanah menggunakan tiang. Sehingga pilihan pondasi yang digunakan adalah pondasi tipe dalam.

Kata Kunci : Beban Dinamis, Preloading, Prefabricated Vertical Drain, Tegangan Tanah Efektif, Amplitudo.

SOFT SOIL IMPROVEMENT IN DYNAMIC FOUNDATION PROJECT OF GAS TURBINE POWER PLANT PERAK SURABAYA

Name of Student : Argha
Number of Student : 3114 105 008
Department's Major : Civil Engineering FTSP-ITS
Supervisor : 1. Ir.Suwarno, M.Eng
2. Ir.Ananta Sigit S., M.Sc., Ph.D.

Abstract

Dynamic load is a complex problems because it is a mix of structures, geotechnical and vibration theory. Construction of the foundation of the machine depends on the geotechnical engineer and machine data. Construction of the foundations of dynamic gas turbine power plant Perak is above the soft ground according to test results SPT shows the depth of the soil of medium density (value SPT 8) is at a depth of 9 m and a depth of soil stiff (value SPT 25) is located at a depth of 26 m so that it appears an alternative foundation between the shallow foundation bearing capacity improvement or no improvement in the foundation soil bearing capacity.

Soil improvement begins by compressing the soil using preloading method is the method of landfill base to accelerate the compression predicted. If the duration of the compression still takes a very long time, pile given Prefabricated Vertical Drain. The end result of preloading method is to increase the soil bearing capacity with an indication of the value of the effective ground voltage (σ_p') are used to search for C_u as strength parameters of soil bearing capacity basis. After compression soil, stability analysis performed on the body of the pile with stability parameter if Safety Factor > 1. If stability is not achieved, efforts are required to use geotextile retrofitting. Once the soil remediation is done, then to design a secure foundation for a gas turbine. Security

parameters that limit the amplitude of the vertical foundation in this final project selected in zone "Not Noticeable to Persons".

The final result of this assignment concluded that construction a dynamic foundation of gas turbine-type shallow soil improvement will be more expensive than the construction of dynamic foundation of gas turbine type with no soil improvement using a pile. So the choice of foundation is the foundation of the type used in the pile.

Keywords: Load, Preloading, Prefabricated Vertical Drain, Stress Effective, Amplitude.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang Masalah	1
1.2	Perumusan Masalah	2
1.3	Batasan Masalah	3
1.4	Tujuan Penelitian	3
1.5	Manfaat Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Pengertian Tanah	5
2.2	Tipe Mesin	5
2.3	Beban Dinamis	6
2.4	Metode Analisis Akibat Beban Dinamis	9
2.4.1	Metode <i>Linear Elastic Weightless Spring Method</i>	9
2.4.2	Metode <i>Elastic Half – Space</i>	9
2.4.3	Metode <i>Lumped Parameter System</i>	9
2.5	Kopel Lateral dan Rocking	15
2.6	Persyaratan Pondasi Mesin	16
2.7	Pondasi Mesin	19
2.7.1	Pondasi Dangkal	19
2.7.2	Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal	20
2.7.3	Pondasi Dalam	22
2.7.4	Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal	22
2.7.5	Analisa Respon Tiang Pondasi	23
2.7.6	Derajat Kebebasan Pondasi	28
2.8	Kemampuan Pemampatan Tanah	29

2.8.1	<i>Immediate Settlement</i>	30
2.8.2	Penurunan Konsolidasi / Consolidation Settlement (Sc).....	31
2.8.3	Parameter Tanah untuk Perhitungan Consolidation Settlement (Sc).....	36
2.9	Waktu Pemampatan Tanah.....	40
2.9.2.	Lamanya Pemampatan Tanah	40
2.9.3.	Parameter Tanah untuk Lamanya Pemampatan Konsolidasi.....	41
2.10	Metode <i>Preloading</i>	42
2.10.1	Tinggi timbunan Awal ($H_{initial}$).....	43
2.10.2	Penentuan Tinggi Kritis.....	44
2.10.3	Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Metode <i>Preloading</i>	44
2.11	Percepatan Waktu Konsolidasi.....	46
2.11.1	<i>Vertical Drain</i>	47
2.11.2	Menentukan Kedalaman <i>Vertical Drain</i>	47
2.11.3	Menentukan Waktu Konsolidasi akibat <i>Vertical Drain</i>	48
2.12	Geotextile Sebagai Perkuatan Dinding Vertikal.....	54
2.13	Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan cara <i>Replace</i> Tanah Dasar	54
BAB III METODOLOGI		
3.1	Diagram Alir	55
3.2	Studi Literatur.....	58
3.3	Pengumpulan Data.....	58
3.3.1	Data Layout Proyek.....	58
3.3.2	Penyelidikan Tanah di Lapangan	59
3.3.3	Penyelidikan Tanah di Laboratorium.....	59
3.4	Pengumpulan dan Analisis Data.....	60
3.5	Perhitungan Beban Dinamis Turbin Gas.....	60
3.6	Perencanaan Timbunan <i>Preloading</i>	60
3.7	Stabilitas Timbunan.....	61

3.8	Perencanaan Pondasi Mesin.....	61
3.9	Kesimpulan.....	61

BAB IV ANALISIS

4.1	Data Perencanaan.....	63
4.1.1	Data Alat.....	63
4.1.2	Data <i>Pilecap</i>	63
4.1.3	Data Tiang Pancang.....	63
4.2	Beban.....	63
4.2.1	Beban Mati.....	63
4.2.2	Beban Hidup.....	64
4.3	Perhitungan Penurunan Timbunan.....	64
4.3.1	Korelasi Data Tanah.....	64
4.4	Tinggi Surcharge Beban Pondasi.....	73
4.5	Perhitungan Waktu Konsolidasi.....	74
4.5.1	Perhitungan Waktu Konsolidasi Arah Vertikal dan Horizontal tanpa PVD.....	74
4.5.2	Perhitungan Faktor Hambatan PVD dengan Pola Pemasangan segitiga dan segiempat.....	76
4.6	Pola Pemasangan PVD.....	83
4.7	Kecepatan Pentahapan Beban Timbunan.....	84
4.8	Tahapan Penimbunan hingga Minggu Ke-3.....	85
4.9	Perubahan Tegangan Efektif Akibat Beban Timbunan Derajat Konsolidasi < 100%.....	87
4.10	Kenaikan Daya Dukung Tanah (Akibat Kenaikan – Harga Cu).....	88
4.11	Kebutuhan waktu untuk menyelesaikan penurunan.....	89

BAB V PERENCANAAN PONDASI

5.1	Data Perencanaan.....	91
5.1.1	Data Alat.....	91
5.1.2	Data <i>Pilecap</i>	91
5.1.3	Data Tiang Pancang.....	91
5.2	5.2 Beban.....	91

5.2.1	Beban Mati.....	91
5.2.2	Beban Hidup.....	92
5.3	Dimensi <i>Pilecap</i>	92
5.4	Perencanaan Vertical Wall (Geotextile).....	93
5.5	Analisis Statis Pondasi Dangkal.....	99
5.6	Analisis Dinamis Pondasi Dangkal.....	100
5.6.1	Analisis Vertikal.....	101
5.6.2	Analisis Horizontal.....	103
5.6.3	Analisis Rocking.....	105
5.7	Analisis Kopel Pondasi Dangkal.....	108
5.8	Analisis Statis Pondasi Dalam.....	113
5.9	Modulus Geser.....	118
5.10	Analisis Dinamis Pondasi Dalam.....	119
5.10.1	Analisis Vertikal.....	120
5.10.2	Analisis Horizontal.....	124
5.10.3	Analisis Rocking.....	127
5.11	Analisis Kopel Pondasi Dalam.....	133
5.12	Replacement Tanah Dasar.....	137
5.13	Analisis Biaya Pelaksanaan.....	138
BAB VI PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	141
5.2	Saran	142
DAFTAR PUSTAKA.....		143
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Layout Proyek PLTG Perak Surabaya	2
Gambar 2.1 Getaran bebas tanpa peredam	6
Gambar 2.2 Getaran bebas dengan peredam	6
Gambar 2.3 Model <i>Lumped Parameter System</i>	10
Gambar 2.4 Grafik β_z , β_x , β_ϕ	13
Gambar 2.5 Batasan amplitudo vertikal	17
Gambar 2.6 Batasan percepatan amplitudo	17
Gambar 2.7 Respon spektrum untuk limit getaran	18
Gambar 2.8 Fondasi Mesin Tipe Mat Slab	19
Gambar 2.9 Pondasi Mesin Tipe Portal	20
Gambar 2.10 Pondasi Mesin Tipe Blok	20
Gambar 2.11 Faktor kekakuan dan Damping untuk tiang vertikal 15	25
Gambar 2.12 α_A sebagai fungsi panjang tiang dan jarak Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi secara normal	25
Gambar 2.13 Derajat Kebebasan Mesin Tipe Blok	29
Gambar 2.14 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal	32
Gambar 2.15 Karakteristik konsolidasi lempung yang <i>overconsolidated</i>	35
Gambar 2.16 Nilai pengaruh untuk tegangan vertikal dibawah timbunan yang sangat panjang	39
Gambar 2.17 Nilai pengaruh untuk tegangan vertikal dibawah sudut beban merata persegi empat panjang	40
Gambar 2.18 <i>Preloading</i>	43
Gambar 2.19 Harga kenaikan tegangan tanah efektif (σ') sejalan dengan waktu pada tanah yang terkonsolidasi	46
Gambar 2.20 Pemasangan <i>vertical drain</i> pada kedalaman lapisan <i>compressible</i>	48
Gambar 2.21 Pola susunan <i>PVD</i> bujur sangkar	49

Gambar 2.22 Pola susunan <i>PVD</i> segituga.....	49
Gambar 2.23 Konsolidasi tanah lunak dengan vertical drain.....	50
Gambar 2.24 Equivalent diameter untuk <i>PVD</i>	54
Gambar 2.25 Perkuatan dinding menggunakan Geotextile.....	55
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir.....	61
Gambar 3.2 Layout Proyek PLTG Perak Surabaya.....	62
Gambar 4.1 Layout Pembangunan Pilecap.....	65
Gambar 4.2 Grafik Hubungan H_{final} terhadap $H_{initial}$	71
Gambar 4.3 Grafik Hubungan H_{final} terhadap penurunan.....	71
Gambar 4.4 Potongan Melintang Surcharge.....	74
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi (t) dengan Derajat Konsolidasi Pola SegitigaGrafik Hubungan H_{final} terhadap $H_{initial}$	79
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi (t) dengan Derajat Konsolidasi Pola SegiempatGrafik Hubungan H_{final} terhadap penurunan.....	83
Gambar 4.7 Sketsa perubahan tegangan akibat beban bertahap untuk satu lapisan.....	85
Gambar 4.8 Grafik Penurunan Akibat Beban Bertahap.....	89
Gambar 5.1 Analisis Geoslope $SF < 1$	94
Gambar 5.2 Penampang Geotextile Dinding Tegak.....	99
Gambar 5.3 Plotting Analisis Pondasi Dangkal ke Grafik.....	112
Gambar 5.4 Pilecap.....	114
Gambar 5.5 Potongan Memanjang Pilecap.....	115
Gambar 5.6 Letak gaya arah melintang.....	115
Gambar 5.7 Plotting Analisis Pondasi Dalam ke Grafik.....	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Design eccentricities for centrifugal machine for operating speeds up to 3000 rpm</i>	7
Tabel 2.2 Nilai Konstanta Pegas	11
Tabel 2.3 Nilai k	12
Tabel 2.4 nilai η_z , η_x , η_y	13
Tabel 2.5 Koefisien Redaman	14
Tabel 2.6 korelasi $B\phi$ dan n_ϕ	14
Tabel 2.7 Faktor α_z , α_x , α_ϕ	14
Tabel 2.8 Faktor Layan	18
Tabel 2.9 Batasan Kriteria Desain Pondasi Mesin	19
Tabel 2.10 Kapasitas Daya Dukung Terzaghi	21
Tabel 2.11 Faktor Daya Dukung Terzaghi	22
Tabel 2.13 Frekuensi tetap untuk pile cap dengan tahanan samping	27
Tabel 2.14 Nilai f	28
Tabel 2.15 Korelasi antara T_v dan U	41
Tabel 4.1 Hasil Hitungan Penurunan (Sc)	68
Tabel 4.2 Penurunan Segera Lapis Pasir	70
Tabel 4.3 Hasil Hitungan H_{final} Terhadap Variasi Nilai q	71
Tabel 4.4 Hasil Hitungan Penurunan (Sc) Bertahap akibat beban timbunan 0,5 m.	73
Tabel 4.5 Perhitungan C_v dan C_h Gabungan	75
Tabel 4.6 Tabel 4.6 Perhitungan Perhitungan Faktor Hambatan PVD dengan Pola Pemasangan Segitiga	77
Tabel 4.7 Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segitiga	79
Tabel 4.8 Perhitungan Perhitungan Faktor Hambatan PVD dengan Pola Pemasangan Segiempat	80
Tabel 4.9 Tabel 4.9 Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat	82
Tabel 4.10 Umur Timbunan pada Minggu Ke 3	85
Tabel 4.11 Perubahan Tegangan di Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi, $U = 100\%$	86

Tabel 4.12 Perubahan Tegangan di Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi, $U < 100\%$	87
Tabel 4.13 Perubahan Nilai Kohesi Undrained (C_u) pada Minggu Ke	88
Tabel 5.1 Perhitungan Jarak Vertikal Pemasangan Geotextile	96
Tabel 5.2 Panjang Geotextile depan bidang longsor (L_r)	96
Tabel 5.3 Panjang Geotextile Total	96
Tabel 5.4 Panjang Lipatan Geotextile (L_o)	97
Tabel 5.5 Rekapitulasi Desain Pondasi Dangkal	112
Tabel 5.6 Nilai SPT	113
Tabel 5.7 Nilai SPT Sepanjang Tiang	116
Tabel 5.8 Tabel Tegangan Efektif	118
Tabel 5.9 Tabel Boussinesq	119
Tabel 5.10 Nilai $\Sigma \alpha_A$	121
Tabel 5.11 Rekapitulasi Desain Pondasi Dalam	136
Tabel 5.12 Bill of Quantity	139
Tabel 5.13 Total Jumlah Terkoreksi Pondasi Dangkal dengan perbaikan Tanah	139
Tabel 5.14 Total Jumlah Terkoreksi Pondasi Dangkal tanpa perbaikan Tanah	139

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

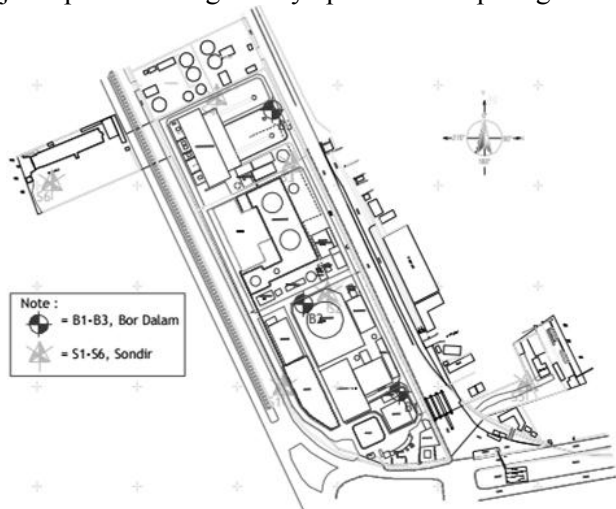
Perwujudan tol laut di Indonesia membutuhkan banyak sumber daya. Sistem pelabuhan yang terintegrasi dari Pelabuhan Belawan, Kuala Tanjung, Tanjung Priok, Tanjung Perak, Teluk Lamong hingga Makassar serta Sorong meningkatkan kebutuhan peralatan yang semakin canggih dengan daya yang besar seperti kebutuhan daya listrik Pelabuhan Perak per hari saat jam sibuk mencapai 100 MW sehingga dibuat Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebagai tambahan daya pelabuhan.

Area PLTG Perak Surabaya berada di lahan tanah *compressible* sesuai nilai hasil uji SPT. Elevasi area ini ditinggikan setinggi 2 meter untuk menyesuaikan elevasi eksisting dengan perkembangan jalan disekitarnya. Setelah tanah dasar ditimbun, dibangun berbagai peralatan pendukung PLTG salah satunya adalah pondasi turbin gas. Penimbunan tanah dasar ini selain berfungsi meningkatkan elevasi lahan namun memberi tambahan beban pada tanah dasar sehingga menyebabkan penurunan yang menyebabkan pemampatan. Pemampatan tanah dipercepat menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* apabila durasi penurunan terlalu lama. Setelah *PVD* terpasang dan ditimbun hingga ketinggian akhir tercapai, maka dilakukan pembangunan pondasi mesin turbin gas tipe pondasi dangkal (blok).

Proses konversi energi dalam turbin gas memberikan karakteristik beban gerak statis dan dinamis berupa beban vertikal, beban horizontal, dan rocking yang membentuk rotasi sebagai gaya tambahan pada pondasi. Beban ini yang menjadi dasar perencanaan dimensi pondasi agar berada dalam zona "*Not Noticeable to Persons*". Turbin gas yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki merk Ansaldo Energia tipe AE64.3A kapasitas 111,7 Megawatt sebanyak

satu alat. Berat turbin sebesar 100 Ton dengan dimensi 12 m x 5 m x 4 m. Tujuan dari perencanaan pondasi mesin adalah membatasi gerak amplitudo yang tidak membahayakan saat pengoperasian mesin dan aman bagi orang-orang yang bekerja disekitarnya.

Tipe pondasi turbin gas dalam tugas akhir ini selain menggunakan metode pondasi mesin dangkal (blok) dengan perbaikan daya dukung tanah, akan dibahas pula metode pondasi dalam tanpa perbaikan tanah sebagai pembanding tambahan. Kedua macam pondasi tersebut akan dipilih salah satu jenis pondasi dengan biaya pelaksanaan paling rendah.



Gambar 1.1 Layout Proyek PLTG Perak Surabaya

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, dapat dirumuskan permasalahan untuk diselesaikan:

1. Berapa $H_{Initial}$ untuk H_{final} 2 meter dan Penurunan yang terjadi?
2. Berapa besar kecepatan penurunan akibat adanya timbunan H_{final} 2 meter?

3. Apakah diperlukan adanya *PVD*?
4. Bagaimana perkuatan daya dukung tanah pondasi dangkal untuk menerima beban statis dan dinamis akibat beban turbin?
5. Bagaimana perencanaan pondasi masuk kategori “*Not Noticeable to Persons*”?
6. Bagaimana perbandingan biaya materialnya antara pondasi dangkal dengan perbaikan tanah dasar dan pondasi dalam tanpa perbaikan tanah dasar?

1.3 Batasan Masalah

1. Layout proyek, data tanah, dan data mesin didapatkan dari hasil sekunder.
2. Hitungan frekuensi menggunakan *Lumped Parameter System*.
3. Tidak menghitung penurunan sekunder.
4. Tidak membahas mengenai metode pelaksanaan.
5. Tidak menghitung mengenai penulangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menghitung besar $H_{Initial}$ untuk H_{final} 2 meter dan Penurunan yang terjadi.
2. Menghitung besar kecepatan penurunan untuk timbunan H_{final} setinggi 2 meter.
3. Menentukan kebutuhan dan pola *PVD* didasarkan pada hasil durasi penurunan.
4. Merencanakan jenis perkuatan daya dukung tanah untuk pondasi dangkal.
5. Merencanakan dimensi pondasi turbin gas agar masuk kategori “*Not Noticeable to Persons*”.
6. Menghitung perbandingan biaya pelaksanaan antara pondasi dangkal dengan perbaikan daya dukung tanah dengan pondasi dalam tanpa perbaikan daya dukung tanah bertujuan menentukan biaya paling rendah.

1.5 Manfaat Penulisan

Sebagai referensi untuk menyelesaikan permasalahan tanah lunak dalam pembangunan pondasi turbin gas di PLTG Perak dan merekomendasikan jenis pondasi dengan biaya paling rendah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Tanah terdiri atas butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain, zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara butiran padat tersebut (Terzaghi, 1925). Jenis tanah ditentukan oleh ukuran dan material pembentuk. Tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953). Lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung dan mineral-mineral yang sangat halus lain (Das, 1985). Lanau adalah butiran penyusun tanah/batuan yang berukuran antara pasir dan lempung terdiri atas kuarsa dan feldspar. Pasir adalah tanah material yang terbentuk dari silicon dioksida.

Tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman > 8 m (Bowles, 1991).

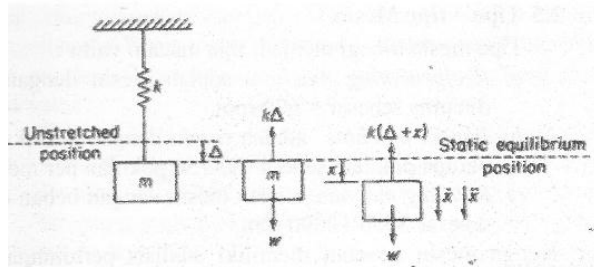
2.2 Tipe Mesin

Tipe mesin dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- a) Reciprocating machine yaitu mesin dengan beban dinamis sebesar < 600 rpm.
- b) Impact Machine yaitu mesin dengan beban dinamis berupa pukulan sejumlah 60 – 150 pukulan per menit.
- c) Rotating machine adalah mesin dengan beban dinamis sebesar 3000 – 10000 rpm.

2.3 Beban Dinamis

Beban dinamis pada pondasi berasal dari kerja alat. Kerja mesin turbin gas sebesar 3000 rpm diasumsikan menjadi gaya pegas seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Getaran bebas tanpa peredam

Berdasarkan gambar diatas, rumus yang digunakan untuk mencari koefisien pegas sebagai berikut:

$$k = m \cdot a \quad (\text{rumus 2.1})$$

sehingga persamaan gerak menjadi:

$$(m\ddot{x}) + (kx) = W \sin \theta \quad (\text{rumus 2.2})$$

Keterangan:

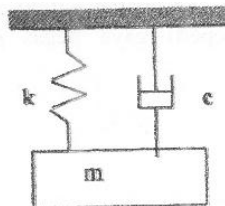
k = konstanta pegas (T/m)

m = Massa mesin (T dt²/m)

x = Jarak perpindahan (m)

$a = \ddot{x}$ = Percepatan

$W \sin \theta$ = Gaya luar yang bekerja



Gambar 2.2 Getaran bebas dengan peredam

Berdasarkan gambar di atas, selain koefisien pegas dihitung pula koefisien redaman sebagai berikut :

$$c = 2\sqrt{km} \quad (\text{rumus 2.3})$$

Sehingga persamaan gerak menjadi :

$$(m\ddot{x}) + (c\dot{x}) + (kx) = W \sin \theta \quad (\text{rumus 2.4})$$

Keterangan :

c = Koefisien redaman

k = Konstanta pegas (T/m)

m = Massa mesin (T dt²/m)

x = Jarak perpindahan (m)

\dot{x} = Kecepatan (m/dt)

$a = \ddot{x}$ = Percepatan

$W \sin \theta$ = Gaya luar yang bekerja

Gaya luar pada rumus diatas didapatkan dari gerak dinamis mesin. Tipe *rotating machine* yang menghasilkan gaya rotasi maka gaya luar (W) dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_o = m \times e \times \omega^2 \quad (\text{rumus 2.5})$$

Keterangan :

Q_o = Gaya luar (T)

m = Massa mesin (T dt²/m)

e = Eksentrisitas (m)

ω = Resonansi untuk *rotating*

$$= 2 \times \pi \times f_{\text{mesin}} \quad (\text{rad/dt}^2) \quad (\text{rumus})$$

Nilai eksentrisitas didapatkan dari tabel berikut :

Tabel 2.1 *Design eccentricities for centrifugal machine for operating speeds up to 3000 rpm :*

Operating Speed (rpm)	Eccentricity (inch) (double amplitude)
750	0,014 – 0,032
1500	0,008
3000	0,002

Sumber : *Vibration Analysis and Design of Foundation for machines and Turbines*, Akademi Kiado, Budapest, Collet's Holding Limited, London, 1962

Beban dinamis yang disalurkan ke tanah akan mengalami pengurangan akibat adanya pondasi. Perhitungan beban tersebut menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_r = \frac{\sqrt{1+2Dr^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \quad (\text{rumus 2.6})$$

Keterangan :

T_r = Transmisibility

D = Rasio redaman

r = ekuivalen bentuk pondasi

Sehingga besar beban yang disalurkan menjadi :

$$F_t = T_r \times Q_o \quad (\text{rumus 2.7})$$

Keterangan :

F_t = Gaya yang diterima tanah sesuai arah gaya (Ton)

Q_o = Gaya luar yang dihasilkan mesin (Ton)

Sedangkan untuk menghitung nilai amplitudo yang dihasilkan berdasarkan arah gaya yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$A = M \frac{Q_o}{k} \quad (\text{rumus 2.8})$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \quad (\text{rumus 2.9})$$

Keterangan :

A = Amplitudo (inch)

M = *Magnification factor*

Q_o = Gaya luar yang dihasilkan mesin (Ton)

k = Konstanta pegas sesuai arah gaya

D = Rasio redaman

$r = \frac{f_{\text{mesin}}}{f_n}$

2.4 Metode Analisis Akibat Beban Dinamis

Metode analisis akibat beban dinamis dapat dibedakan menjadi 3 metode yaitu;

2.4.1 Metode *Linear Elastic Weightless Spring Method*

Tanah dianggap sebagai pegas. Redaman dimasukkan sebagai nilai yang belum dicari, walaupun redaman tidak begitu mempengaruhi terhadap frekuensi resonansi dari sistem tapi redaman memberi pengaruh yang signifikan pada amplitudo saat resonansi. Selama zona resonansi dapat dihindarkan dalam perencanaan pondasi, pengaruh redaman pada amplitudo saat frekuensi juga kecil bila dibandingkan amplitudo saat resonansi.

2.4.2 Metode *Elastic Half – Space*

Teori elastisitas digunakan sebagai metode pendekatan, terlihat lebih rasional tetapi lebih rumit. Teori elastic half – space digunakan untuk amplitudo kecil. Dalam pemakaiannya untuk efek penanaman, kerusakan tanah yang terjadi akibat penggalian dan penimbunan, banyak massa tanah yang turut menyebabkan getaran dan ketidaklinearan dari tanah yang akan membuat perhitungan makin rumit. Teori ini menganggap pondasi sebagai homogen isotropik.

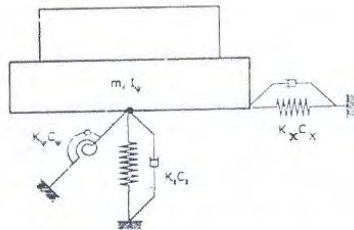
2.4.3 Metode *Lumped Parameter System*

Metode Lumped Parameter System adalah pengembangan dari teori *Elastic Half – Space* dan harga suatu parameter didapatkan dengan cara tersebut. Teori *Lumped Parameter System* adalah sistem yang digunakan untuk memperkaku blok pondasi dengan menggunakan massa, pegas dan dashpot. Sistem ini menerapkan semua komponen massa, pegas dan redaman. Metode ini dikembangkan oleh Lysmer dan Richart (1966) yang bersumber dari “*Dynamic Boussinesq Problems*”. Metode ini

dikembangkan untuk pondasi lingkaran dengan radius r_0 dengan kondisi pondasi berada diatas tanah. Teori *Lumped Parameter System*, respon dinamis tanah terhadap pondasi dan beban dinamis dapat dimodelkan sebagai berikut;

- Pegas / spring dengan harga kekakuan " k ".
- Dashpot / damping / redaman dengan harga koefisien damping " c ".

Model pegas dan damping dapat dimodelkan secara vertikal, horizontal, torsi maupun rocking. Berikut adalah permodelan sistem pondasi mesin dan tanah pada metode Lumped Parameter System.



Gambar 2.3 Model *Lumped Parameter System*
(Wood, 1970)

Pada metode ini yang diperhitungkan adalah akumulasi massa mengumpamakan bahwa pusat massa bekerja pada daerah antara lain :

- Titik/daerah yang merupakan letak dari getaran dari mesin.
- Titik/daerah yang merupakan letak dari beban dinamis.
- Titik/daerah yang terdapat lendutan terbesar misalnya pada ujung kantilever atau pada tengah bentang.
- Pusat gravitasi dari seluruh pusat massa yang mengalami satu derajat kebebasan.

Metode ini juga membahas mengenai konstanta pegas yang dipengaruhi oleh kekakuan massa. Cara mendapatkan konstanta pegas dilakukan dengan beberapa pendekatan antara lain:

- Bentuk prisma, dengan bentuk ini akan didapat tiga konstanta pegas dan tiga rotasi.
- Konstanta pegas juga dapat digambarkan berdasarkan ketebalan plat, dengan ketebalan ini akan didapat dua konstanta pegas dan dua rotasi yang dianggap sama dengan bentuk regangan dan tekukan.
- Reaksi antara tanah terhadap beban yang bekerja yang dapat menimbulkan gaya tarik dan tekan.

Selain komponen pegas terdapat pula koefisien redaman. Rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Nilai Konstanta Pegas

Bentuk Getaran	Pondasi Lingkaran
Vertikal	$k_z = \frac{4 \cdot G \cdot r_o}{1-\nu} \cdot \eta_z$
Horizontal	$k_x = \frac{32 \cdot (1-\nu) \cdot G \cdot r_o}{7-8\nu} \cdot \eta_x$
Rocking	$k_\phi = \frac{8 \cdot G \cdot r_o^3}{3(1-\nu)} \cdot \eta_\phi$

Keterangan :

k_z = Koefisien pegas akibat gaya vertikal (kN/m)

k_x = Koefisien pegas akibat gaya Horizontal (kN/m)

k_ϕ = Koefisien pegas akibat gaya Rocking (kN/m)

G = Modulus geser (kN/m)

$$= 1230 \frac{(2,973-e)^2}{1+e} (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o}) \quad (\text{rumus 2.10})$$

$$\sigma_o = 0.333 (\sigma_v + 2\sigma_h) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{rumus 2.11})$$

$$\sigma_h = K_o (\sigma_v + 2\sigma_h) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{rumus 2.12})$$

Tabel 2.3 Nilai k

Plasticity Index (PI)	k
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥ 100	0,50

Sumber : *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*, Suresh C. Arya, 1979

Berdasarkan nilai konstanta pegas yang didapat, maka akan diketahui frekuensi natural untuk setiap gaya. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_c}} \quad (\text{rumus 2.13})$$

Keterangan :

f_n = frekuensi natural (rad/dt)

K = konstanta pegas pada setiap arah gaya (kN/m)

m = Total massa (berat pondasi dan mesin per gravitasi) (ton dt²/m)

sedangkan untuk menghitung frekuensi resonansi sebagai berikut :

$$f_r = f_n \sqrt{1 - 2D^2} \quad (\text{rumus 2.14})$$

f_r = frekuensi resonansi (rad/dt)

f_n = frekuensi natural (rad/dt)

D = ratio redaman pada arah gaya yang bekerja.

Tabel 2.4 nilai $\eta_z, \eta_x, \eta_\psi$

Bentuk Getaran	r_o pondasi persegi	Koefisien
Vertikal	$\sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$	$1+0,6 (1-\nu) \frac{h}{r_o}$
Horizontal	$\sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$	$1+0,55 (2-\nu) \frac{h}{r_o}$
Rocking	$\sqrt[4]{\frac{B \cdot L^3}{3\pi}}$	$1+1,2 (1-\nu) \frac{h}{r_o} + 0,2 (2-\nu) \left(\frac{h}{r_o}\right)^3$

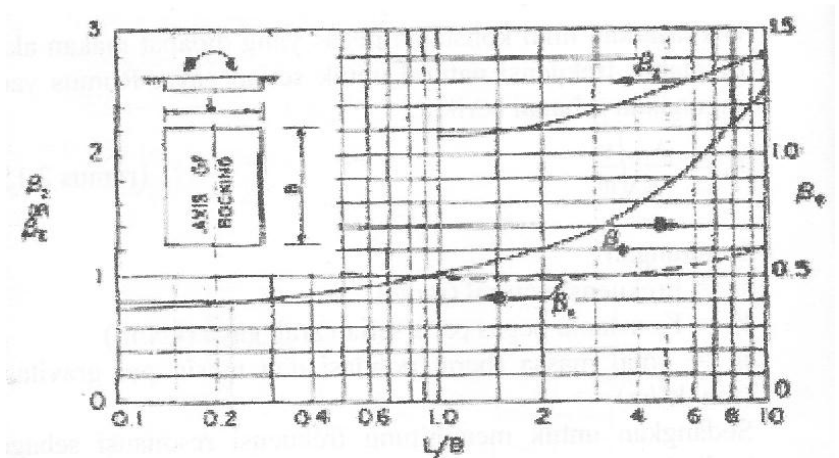
Keterangan :

B = Lebar Pondasi (m)

L = Panjang pondasi (m)

h = Tebal penanaman pondasi (m)

ν = Poisson ratio = 0,4

**Gambar 2.4** Grafik $\beta_z, \beta_x, \beta_\phi$

Tabel 2.5 Koefisien Redaman

Bentuk Getaran	Rasio Massa	Rasio Redaman
Vertikal	$B_z = \frac{(1-v)}{4} \cdot \frac{W}{\gamma r_o^3}$	$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z$
Horizontal	$B_x = \frac{(7-8v)}{32(1-v)} \cdot \frac{W}{\gamma r_o^3}$	$D_x = \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x$
Rocking	$B_\phi = \frac{3(1-v)}{8} \cdot \frac{M_{mo}}{\rho r_o^3}$	$D_\phi = \frac{0,15}{(1+n_\phi B_\phi) \sqrt{n_\phi B_\phi}} \alpha_\phi$

Keterangan:

B_z = Rasio massa akibat gaya vertikal

B_x = Rasio massa akibat gaya horizontal

B_ϕ = Rasio massa akibat torsi

W = Berat alat dan pondasi (Ton)

M_{mo} = Momen pada titik nol (Ton m dt²)
 $= 1/12 \cdot m \cdot (p^2+t^2) + mx^2 + m_{mesin} \cdot x^2$ (rumus 2.15)

x = jarak titik pusat mesin ke alas (m)

n_ϕ = nilai yang didapatkan sesuai nilai B_ϕ

Tabel 2.6 korelasi B_ϕ dan n_ϕ

B_ϕ	5	3	2	1	0,8	0,5	0,2
n_ϕ	1,079	1,110	1,143	1,219	1,251	1,378	1,600

Tabel 2.7 Faktor α_z , α_x , α_ϕ

Bentuk getaran	Faktor α
Vertikal	$\alpha_z = \frac{1+1,9(1-v)(h/r_o)}{\sqrt{\eta_z}}$
Horizontal	$\alpha_x = \frac{1+1,9(2-v)(h/r_o)}{\sqrt{\eta_x}}$
Rocking	$\alpha_\phi = \frac{1+0,7(1-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)+0,6(2-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_\phi}}$

2.5 Kopel Lateral dan Rocking

Kopel adalah kombinasi pergerakan mesin saat digunakan dalam arah lateral dan rocking. Akibat adanya kopel, terjadi pertambahan nilai amplitudo yang diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$A_x = A_{x1} + A_{x2} \quad (\text{rumus 2.16})$$

$$A_\phi = A_{\phi1} + A_{\phi2} \quad (\text{rumus 2.17})$$

Keterangan :

$$A_{x1} = \frac{M_x L \left[(\omega_{nx}^2)^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega)^2} \quad (\text{rumus 2.18})$$

$$A_{x2} = \frac{P_x}{m M_m} \frac{\left[(-M_m \omega^2 + K_\phi + K_x L^2)^2 + 4\omega (\xi_\phi \sqrt{K_\phi M_m} + L^2 \xi_x \sqrt{K_x m})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2} \quad (\text{rumus 2.19})$$

$$A_{\phi1} = \frac{M_y}{M_m} \frac{\left[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2} \quad (\text{rumus 2.20})$$

$$A_{\phi2} = \frac{P_x L}{M_m} \frac{\omega_{nx} (\omega_{nx}^2 + 4\xi_x \omega^2)^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2} \quad (\text{rumus 2.21})$$

Keterangan :

M_x = Q_o x jarak pusat rotor ke pusat pilecap dan mesin

$$M_m = M_{mo} \text{ total} - m_{total} \cdot L^2 \quad (\text{rumus 2.22})$$

L = Letak titik berat mesin dari pondasi

$$= \frac{W \text{ pilecap} \cdot 0,5t + W_{mesin}(t+h \text{ pusat mesin})}{W_{total}} \quad (\text{rumus 2.23})$$

ω = resonansi sesuai arah gaya

ξ = Faktor Damping sesuai arah gaya

$$\Delta(\omega)^2 = \left[\left(\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2}{\gamma} - \frac{4\xi_x \xi_\phi \omega_{nx} \omega_{n\phi}}{\gamma} \right\} + \frac{\omega_{nx}^2 \omega_{n\phi}^2}{\gamma} \right)^{\frac{1}{2}} + 4 \left\{ \xi_x \frac{\omega_{nx} \omega}{\gamma} (\omega_{n\phi}^2 - \omega^2) + \frac{\xi_\phi \omega_{n\phi} \omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) \right\} \right]^2 \quad (\text{rumus 2.24})$$

2.6 Persyaratan Pondasi Mesin

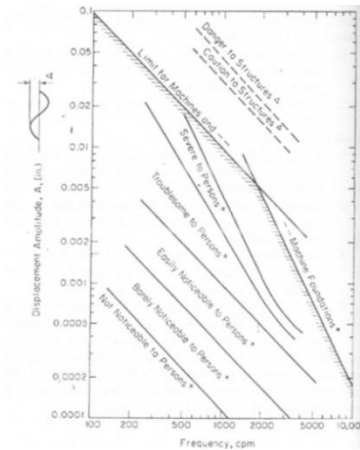
Pondasi didesain agar mesin berfungsi secara normal dan getaran tidak membahayakan (Prakash, 1981) untuk beban statis:

1. Mampu menahan dan memikul beban statis yang ditimbulkan oleh mesin tanpa menyebabkan keruntuhan geser atau keruntuhan total.
2. Penurunan pondasi akibat beban harus berada dalam batas – batas yang diijinkan.

Sedangkan untuk beban dinamis :

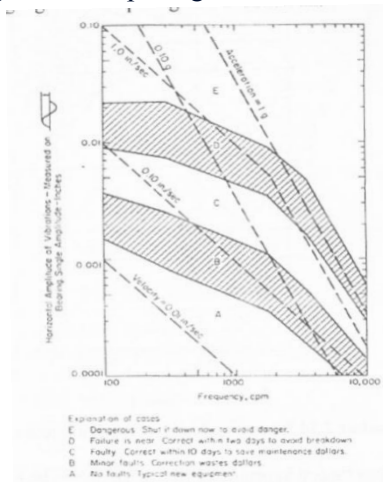
1. Tidak boleh terjadi resonansi, yaitu frekuensi natural sistem tanah-pondasi-mesin tidak boleh sama dengan frekuensi operasi mesin.
2. Amplitudo pada frekuensi operasi tidak boleh melebihi amplitudo batas yang umumnya ditentukan oleh pembuat mesin tersebut.
3. Bagian – bagian mesin yang bergerak atau bergetar harus sedapat mungkin setimbang untuk mengurangi ketidaksetimbangan dari gaya – gaya dan momen.
4. Getaran yang terjadi tidak boleh mengganggu orang – orang yang bekerja atau merusak mesin – mesin lainnya.

Kegagalan pondasi mesin terjadi ketika getaran melampaui batas yang sudah ditentukan. Batasan pondasi mesin ditentukan berdasarkan pada amplitudo dan kecepatan dari getaran pada operasi mesin. Berikut grafik batasan amplitudo pondasi mesin.



Gambar 2.5 Batasan amplitudo vertikal (Arya, 1981)

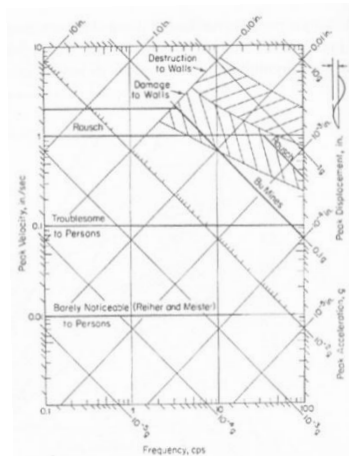
Batasan amplitudo vertikal dari grafik diatas, maksimal masuk zona “*Troublesome to Persons*”. Bukan hanya memperhatikan batasan – batasan amplitudo mesin, tetapi juga perlu memperhatikan batasan percepatan amplitudo. Seperti yang digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 2.6 Batasan percepatan amplitudo (Arya, 1981)

Batasan percepatan amplitudo dari gambar 2.6, maksimal masuk zona B. Kecepatan amplitudo dirumuskan dengan $v = 2f \text{ (cps)} \times A$. (rumus 2.25)

Percepatan amplitudo $a = 4f^2 \times A \cdot \pi^2$. (rumus 2.26)



Gambar 2.7 Respon spektrum untuk limit getaran (Arya, 1981)

Karena tingkat kepentingan dari setiap mesin berbeda-beda aka diperlukan angka keamanan untuk menjaga mesin dan pondasi. Angka keamanan didapatkan dengan cara mengalikan dengan amplitudo dan hasilnya digunakan untuk pembacaan grafik sebagai amplitudo.

Tabel 2.8 Faktor Layan

Single-stage centrifugal pump, electric motor, fan	1
Typical chemical processing equipment, noncritical	1
Turbine, turbogenerator, centrifugal compressor	1.6
Centrifuge, stiff-shaft ¹ ; multistage centrifugal pump	2
Miscellaneous equipment, characteristics unknown	2
Centrifuge, shaft-suspended, on shaft near basket	0.5
Centrifuge, link-suspended, slung	0.3

¹ Effective vibration = measured single amplitude vibration, in inches multiplied by the service factor. Machine tools are excluded. Values are for bolted-down equipment; when not bolted multiply the service factor by 0.4 and use the product as the service factor. Caution: Vibration is measured on the bearing housing, except as stated.

Pondasi mesin didesain sesuai batasan sebagai berikut:

Tabel 2.9 Batasan kriteria desain pondasi mesin

Item	Kriteria
Daya dukung statis	50% σ ijin
Daya dukung statis + dinamis	75% σ ijin
Amplitudo	< <i>Troublesome (Not Noticeable)</i>
Amplitudo mesin rotating	Masuk A atau B
Pembesaran dinamis vertikal	< 1.5
Resonansi	20% frekuensi operasi
Kecepatan partikel tanah	$2\pi f$ (cps) x amplitudo < GOOD

2.7 Pondasi Mesin

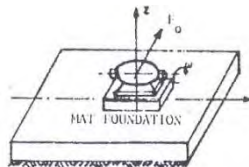
Pondasi mesin merupakan pondasi beban dinamis yang dirancang sebagai pondasi yang dapat menerima beban statis dan dinamis. Beban statis mesin terdiri atas berat mati mesin dan beban dinamis yang berasal dari pergerakan alat. Perlu adanya perlakuan khusus terhadap kedua baban sehingga diperhitungkan dalam mendesain pondasinya.

Pondasi mesin dibedakan menjadi pondasi dangkal dan dalam.

2.7.1 Pondasi Dangkal

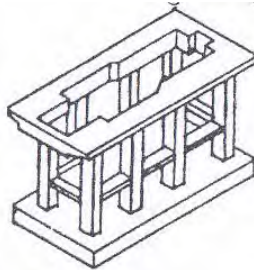
a) Pondasi Mesin Tipe *Mat Slab*

Fleksibel slab beton yang diletakkan diatas mesin.



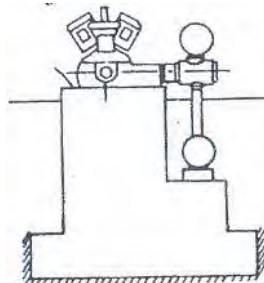
Gambar 2.8 Pondasi Mesin Tipe *Mat Slab*
(Arya, 1981)

- b) **Pondasi Mesin Tipe Portal**
 Pondasi berupa struktur kolom beton dengan ketinggian tertentu diatas tanah terdiri dari kolom yang ditumpu oleh pondasi slab. Bagian atas kolom disatukan dengan top slab sehingga membentuk lantai untuk meletakkan mesin.



Gambar 2.9 Pondasi Mesin Tipe Portal (*Arya,1981*)

- c) **Pondasi Mesin Tipe Blok**
 Pondasi terdiri atas blok beton rigid dengan ketebalan tertentu sehingga dapat mengabaikan deformasi struktur.



Gambar 2.10 Pondasi Mesin Tipe Blok (*Arya,1981*)

2.7.2 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal

Analisis Daya Dukung Terzaghi Menurut Terzaghi (1943) dalam Das (1995) suatu pondasi dangkal ditentukan dari :

$$D_f \leq B. \quad (\text{rumus 2.27})$$

Keterangan :

Df = Kedalaman pondasi dangkal dari permukaan tanah (m)

B = Lebar pondasi (m)

Persamaan daya dukung untuk pondasi memanjang menurut Terzaghi (1943) dinyatakan sebagai berikut :

$$q_u = cN_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5\gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (\text{rumus 2.28})$$

dengan :

q_u = Daya dukung ultimit pada pondasi memanjang (kN/m²)

c = Kohesi tanah

Df = Kedalaman pondasi (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m)

untuk bentuk pondasi lainnya dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Kapasitas Daya Dukung Terzaghi

Tipe pondasi	Kapasitas daya dukung
- Menerus	$\left. \begin{aligned} q_{ult} &= cN_c + q\bar{N}_q + 0.5 B\gamma N_\gamma \\ q_{ult} &= 1.3 cN_c + q\bar{N}_q + 0.4 B\gamma N_\gamma \\ q_{ult} &= 1.3 cN_c + q\bar{N}_q + 0.3 B\gamma N_\gamma \end{aligned} \right\}$
- Empat persegi panjang	
- Lingkaran	

dengan :

q = *effective overburden pressure*

N_c , N_q , N_γ faktor daya dukung Terzaghi yang dijelaskan dalam tabel 2.11

φ°	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	1,2	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	35,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Tabel 2.11 Faktor Daya Dukung Terzaghi

2.7.3 Pondasi Dalam

Pondasi dalam dibedakan menjadi 2 yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor. Fungsi pondasi dalam dapat dibedakan menjadi 2 yaitu pondasi tiang yang digunakan untuk memikul beban pondasi akibat daya dukung tanah yang tidak mencukupi dan digunakan untuk meningkatkan kekakuan sehingga menaikkan frekuensi natural dan memperkecil amplitudo.

2.7.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dalam

Tipe pondasi dalam yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah pondasi tiang pancang. Rumus daya dukung tiang *ultimate* menurut Luciano Decourt

$$Q_{ult} = K \cdot N_p \cdot A_p + \frac{N_s}{3} + 1 \cdot A_s$$

(rumus 2.29)

$$Q_d = \frac{Q_{ult}}{SF} ; SF = 3$$

$$\text{Efisiensi} = \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + nP_{ut}^2}} \quad (\text{rumus 2.30})$$

Keterangan :

$$P_{ub} = Q_{ult} = K N_p A_p + (N_s/3 + 1) A_s$$

P_{ut} = Kekuatan satu tiang

n = Jumlah tiang

Q_{ult} = Daya dukung tiang *ultimate*

Q_d = Daya dukung tiang ijin

SF = Angka keamanan

K = Koefisien karakteristik

tanah pasir = $40 \text{ T/m}^2 = 392 \text{ Kpa}$

tanah lanau berpasir = $25 \text{ T/m}^2 = 245 \text{ Kpa}$

tanah lanau berlempung = $20 \text{ T/m}^2 = 196 \text{ Kpa}$

tanah lempung = $12 \text{ T/m}^2 = 117 \text{ Kpa}$

2.7.5 Analisa Respon Tiang Pondasi

Pondasi tiang yang berada dalam pengaruh beban getaran memiliki pengaruh buruk, tetapi dengan penggunaan tiang dapat mengurangi damping, menambah nilai resonansi frekuensi dari pondasi dan memberi akibat deformasi. Novak menganalisis respon karakteristik pada jenis tiang tunggal dan kelompok dalam model vertikal, horizontal, dan *rocking*. Solusi dari hal ini adalah mengasumsi tiang yang tertanam sepenuhnya berinteraksi dengan tanah elastis.

a) Vertikal

Persamaan geometri efektif *damping* untuk tiang tunggal *end bearing*.

$$k_w^1 = \frac{E_p A}{r_o} f_{w1} \quad (\text{rumus 2.31})$$

$$c_w^1 = \frac{E_p A}{V_s} f_{w_2} \quad (\text{rumus 2.32})$$

Keterangan :

E_p = Modulus Young material tiang.

A = Luas potongan melintang tiang.

r_o = ekuivalen radius tiang.

f_w = Faktor dari gambar (...) untuk tiang *end bearing*.

v_s = kecepatan gelombang geser dalam tanah.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk kelompok tiang. (Gambar 2.15)

$$k_w^g = \frac{\sum_1^n k_w^1}{\sum_1^n \alpha_a} \quad (\text{rumus 2.33})$$

$$c_w^g = \frac{\sum_1^n c_w^1}{\sum_1^n \alpha_a} \quad (\text{rumus 2.34})$$

Keterangan :

N = jumlah tiang

α_A = interaksi pergeseran aksial untuk tiang yang sama dalam kelompok dengan asumsi tiang menumpu beban yang sama.

Geometri *damping* untuk kelompok tiang yang menumpu beban dapat dihitung dengan persamaan

$$\xi_w^g = \frac{\sum c_w^g}{2(\sum k_w^g m_c)^{0.5}} \quad (\text{rumus 2.35})$$

Keterangan :

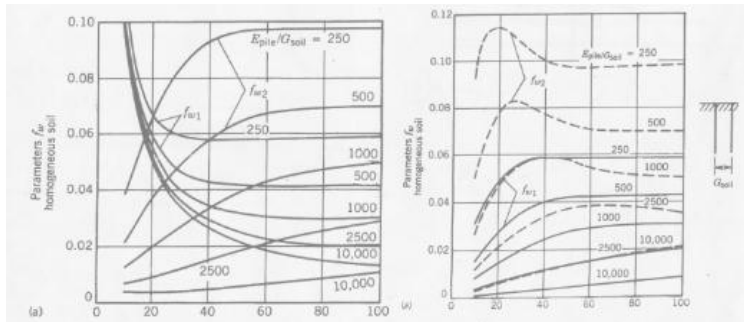
m_c = Massa pondasi dan *pile cap*.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk *cap*.

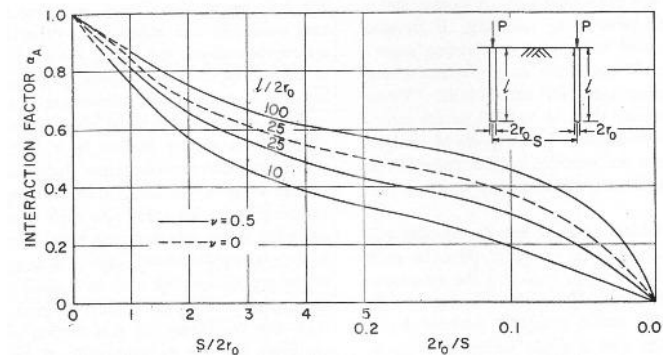
$$\begin{aligned} k_w^f &= G_s \cdot h \cdot S_1 \\ c_w^f &= h r_o S_2 \sqrt{G_s \rho_s} \end{aligned} \quad (\text{rumus 2.36})$$

Keterangan :

S_1, S_2 = faktor dari Tabel 2.13



Gambar 2.11 Faktor kekakuan dan Damping untuk tiang vertikal (Arya,1981)



Gambar 2.12 α_A sebagai fungsi panjang tiang dan jarak (Arya,1981)

b) Horizontal

Persamaan geometri efektif *damping* untuk tiang tunggal.

$$k_x^1 = \frac{E_p I}{r_o^3} f_{x_1} \quad l/r_o \geq 25 \text{ (rumus 2.37)}$$

$$c_x^1 = \frac{E_p I}{r_o^2 V_s} f_{x_2} \quad l/r_o \geq 25 \text{ (rumus 2.38)}$$

Keterangan :

E_p = Modulus Young material tiang.

A = Luas potongan melintang tiang.

r_o = ekuivalen radius tiang.

f_x = Faktor dari gambar (...) untuk tiang *end bearing*.

v_s = kecepatan gelombang geser dalam tanah.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk kelompok tiang.

$$k_x^g = \frac{\sum_1^n k_x^1}{\sum_1^n \alpha_a} \quad (\text{rumus 2.39})$$

$$c_x^g = \frac{\sum_1^n c_x^1}{\sum_1^n \alpha_a} \quad (\text{rumus 2.40})$$

Keterangan :

N = jumlah tiang

α_A = interaksi pergeseran aksial untuk tiang yang sama dalam kelompok dengan asumsi tiang menumpu beban yang sama. (Gambar 2.15)

Geometri *damping* untuk kelompok tiang yang menumpu beban dapat dihitung dengan persamaan..

$$\xi_w^g = \frac{\sum c_w^g}{2(\sum k_w^g m_c)^{0.5}} \quad (\text{rumus 2.41})$$

Keterangan :

m_c = Massa pondasi dan *pile cap*.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk *cap*.

$$k_x^f = G_s \cdot h \cdot S_{x1} \quad (\text{rumus 2.42})$$

$$c_x^f = h r_o \sqrt{\frac{G_s \gamma_s}{g}} S_{x2} \quad (\text{rumus 2.43})$$

Keterangan :

\dot{S}_{x1} , \dot{S}_{x2} = faktor dari Tabel 2.13

Tabel 2.13 Frekuensi tetap untuk pile cap dengan tahanan samping (Arya, 1981)

v	\dot{S}_1	\dot{S}_2	\dot{S}_{s1}	\dot{S}_{s2}	$\dot{S}_{\phi1}$	$\dot{S}_{\phi2}$
0	2,7	6,7	3,6	8,2	2,5	1,8
0,25	2,7	6,7	4,0	9,1	2,5	1,8
0,4	2,7	6,7	4,1	10,6	2,5	1,8

c) Rocking

Persamaan geometri efektif *damping* untuk tiang tunggal *end bearing*.

$$k_{\phi}^1 = \frac{E_p I}{r_o} f_{\phi 1} \quad (\text{rumus 2.44})$$

$$c_{\phi}^1 = \frac{E_p I}{V_s} f_{\phi 2} \quad (\text{rumus 2.45})$$

Keterangan :

E_p = Modulus Young material tiang.

A = Luas potongan melintang tiang.

r_o = ekuivalen radius tiang.

f_x = Faktor dari gambar (...) untuk tiang *end bearing*.

v_s = kecepatan gelombang geser dalam tanah.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk kelompok tiang.

$$k_{\phi}^g = \Sigma [k_{\phi}^1 + k_w^1 X_r^2 + k_x^1 Z_c^2 - 2Z_c k_{x\phi}^1] \quad (\text{rumus 2.46})$$

$$c_{\phi}^g = \Sigma [c_{\phi}^1 + c_w^1 x_r^2 + c_x^1 Z_c^2 - 2Z_c c_{x\phi}^1] \quad (\text{rumus 2.47})$$

Persamaan geometri efektif *damping* untuk *cap*.

$$\xi_{\phi}^g = \frac{\Sigma c_{\phi}^g}{2(\Sigma k_{\phi}^g M_{mo})^{0.5}} \quad (\text{rumus 2.48})$$

Keterangan :

m_c = Massa pondasi dan *pile cap*.

Persamaan geometri efektif *damping* untuk *cap*.

$$k_{\phi}^f = G_s r_o^2 h S_{\phi 1} + G_s r_o^2 h \left[\left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o} \right) \right] S_{x1} \quad (\text{rumus 2.49})$$

$$c_{\phi}^f = \delta r_o^4 \sqrt{G_s \gamma_s / g} \left\{ S_{\phi 2} + \left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o} \right) \right\} S_{x2} \quad (\text{rumus 2.50})$$

Keterangan :

\hat{S}_{x1} , \hat{S}_{x2} = faktor dari Tabel 2.13

Tabel 2.14 Nilai f (Arya, 1981)

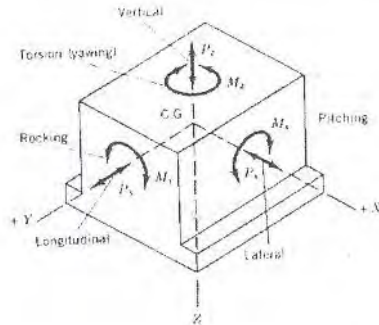
v	E_{pile}/G_{sub}	parameter untuk k				parameter untuk c			
		$f_{\phi 1}$	$f_{\phi 2}$	$f_{\phi 3}$	$f_{\phi 4}$	$f_{\phi 5}$	$f_{\phi 6}$	$f_{\phi 7}$	$f_{\phi 8}$
0,25	10000	0,2135	-0,0217	0,0042	0,0021	0,1577	-0,0333	0,0107	0,0054
	2500	0,2998	-0,0429	0,0119	0,0061	0,2152	-0,0646	0,0297	0,0154
	1000	0,3741	-0,0668	0,0236	0,0123	0,2598	-0,0985	0,0579	0,0306
	500	0,4411	-0,0929	0,0395	0,0210	0,2953	-0,1337	0,0963	0,0514
	250	0,5186	-0,1281	0,0659	0,0356	0,3299	-0,1786	0,1556	0,0854
0,4	10000	0,2207	-0,0232	0,0047	0,0024	0,1634	-0,0356	0,0119	0,0060
	2500	0,3097	-0,0459	0,0132	0,0068	0,2224	-0,0692	0,0329	0,0171
	1000	0,3860	-0,0714	0,0261	0,0136	0,2677	-0,1052	0,0641	0,0339
	500	0,4547	-0,0991	0,0436	0,0231	0,3034	-0,1425	0,1054	0,0570
	250	0,5336	-0,1365	0,0726	0,0394	0,3377	-0,1896	0,1717	0,0957

2.7.6 Derajat Kebebasan Pondasi

Beban dinamis yang bekerja pada pondasi dapat mengakibatkan pondasi mengalami getaran dalam 6 mode yaitu:

- Translasi searah sumbu x (lateral)
- Translasi searah sumbu y (longitudinal)
- Translasi searah sumbu z (vertikal)

- d) Rotasi terhadap sumbu x (*pitching*)
- e) Rotasi terhadap sumbu y (*rocking*)
- f) Rotasi terhadap sumbu z (*yawing*)



Gambar 2.13 Derajat Kebebasan Mesin Tipe Blok (Arya, 1981)

2.8 Kemampuan Pemampatan Tanah

Korelasi data laboratorium secara empiris untuk parameter tanah lempung dirumuskan oleh Kosasih dan Mochtar (1997) sebagai berikut:

$$C_c = 0,007LL + 0,0001wc^2 - 0,18 \quad (\text{rumus 2.51})$$

$$C_c = 0,006LL + 0,13eo^2 - 0,13 \quad (\text{rumus 2.52})$$

$$C_s = 0,002LL + 0,00002wc^2 - 0,06 \quad (\text{rumus 2.53})$$

$$C_s = 0,002LL + 0,02wc^2 - 0,05 \quad (\text{rumus 2.54})$$

Nilai yang digunakan adalah nilai terkecil

Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

- 1 Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
- 2 Penurunan segera (*immediate settlement*), yang

merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

Besarnya pemampatan tanah total dalam adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \quad (\text{rumus 2.55})$$

Keterangan :

S_t = total *settlement*

S_i = *immediate settlement*

S_{cp} = *consolidation primer settlement*

S_{cs} = *consolidation secondary settlement*

S_{lat} = *settlement* akibat pergerakan tanah arah lateral.

2.8.1 Penurunan Segera / *Immediate Settlement* (S_i)

Biarez menyajikan suatu formula sederhana untuk menghitung besarnya *immediare settlement* dari tanah berlapis:

$$S_i = q \sum \frac{h_i}{E'} \quad (\text{rumus 2.56})$$

Keterangan :

q = tegangan yang bekerja pada permukaan tanah (surcharge)

h_i = tebal lapisan tanah i

E' = Modulus Oedometrik pada lapisan i

Korelasi antara modulus Young dengan modulus Eodometrik :

$$E = E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \quad (\text{rumus 2.57})$$

Nilai modulus Young

Lempung lunak

$$E = 1380 - 3450 \text{ kN/m}^2 \quad \mu = 0,15 - 0,25$$

Lempung keras

$$E = 5865 - 13800 \text{ kN/m}^2 \quad \mu = 0,20 - 0,50$$

Pasir lepas

E	= 10350 – 27600 kN/ m ²	μ = 0,20 – 0,40
Pasir padat		
E	= 34500 – 69000 kN/ m ²	μ = 0,25 – 0,45
μ	= Koefisien Poisson	

2.8.2 Penurunan Konsolidasi / *Consolidation Settlement* (Sc)

Besar pemampatan tanah akibat konsolidasi primer dari tanah lempung ini tergantung dari sejarah tanahnya, yaitu *normally consolidated* (NC) atau *overconsolidated* (OC).

- a) Terkonsolidasi normal (*normally consolidated*)
Tekanan efektif overburden yang dialami tanah pada saat itu adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. Besarnya pemampatan NC dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_c = \frac{H}{1 + e_0} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta \sigma}{\sigma_0'} \right) \right]$$

(rumus 2.58)

dimana :

H = tebal lapisan lempung (*compressible soil*)

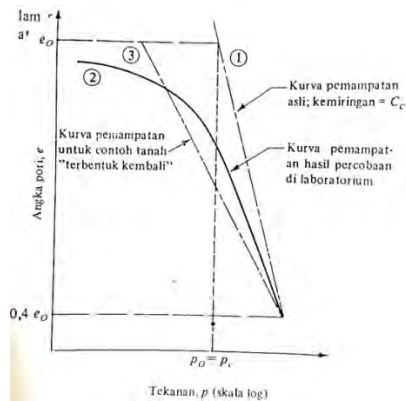
e_0 = angka pori awal (*initial void ratio*)

C_c = *Compression index*

σ_0' = *Overburden pressure effective*

Suatu tanah lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang serta angka pori e_0 dan tekanan efektif overburden σ_0' , perubahan angka pori sebagai akibat dari penambahan tegangan di lapangan

secara kasar dapat ditunjukkan seperti kurva 1 pada Gambar 2.17. Kurva yang hampir merupakan garis lurus apabila digambar pada kertas semi-logaritma tersebut dinamakan sebagai kurva pemampatan asli (*virgin compression curve*). Tetapi, kurva hasil uji konsolidasi di laboratorium untuk contoh tanah yang struktur tanahnya tidak rusak (*undisturbed*) dari tanah yang sama adalah Kurva 2 yang terletak di sebelah kiri Kurva 1. Apabila struktur dari contoh tanah tersebut benar – benar rusak dan kemudian dibentuk kembali (*remoulded*), maka letak grafik e versus $\log \sigma$ umumnya akan seperti Kurva 3. Kurva 1, 2, dan 3 akan berpotongan kira-kira pada angka pori $e = 0,4 e_0$ (Terzaghi dan Peck dalam Lincoln, 2015).



Gambar 2.14 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi secara normal

- b) Terlalu terkonsolidasi (*Overconsolidated*)
Tekanan efektif *overburden* yang dialami tanah pada saat itu adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya.

Tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*). Perumusan pemampatan konsolidasi untuk tanah ini dirumuskan sebagai berikut:

Bila : $(p_0' + \Delta p) \leq p_0'$

Maka :

$$S_c = \frac{H}{1 + e_0} \left[C_s \log \left(\frac{p_0' + \Delta \sigma}{p_0'} \right) \right] \quad (\text{rumus 2.59})$$

Bila : $(p_0' + \Delta p) > p_0'$

Maka :

$$S_c = \left[\frac{H_i}{1 + e_0} C_s \log \frac{\Delta p_i'}{p_{0'i}'} \right] \quad (\text{rumus 2.60})$$

Keterangan :

H = tebal lapisan lempung (*Compressible soil*)

e_0 = angka pori awal (*initial void ratio*)

C_c = *Compression index*

C_s = *Swelling Index*

Δp = *Surcharge* (besarnya tegangan di muka tanah)

p_0' = *Overburden pressure effective*

p_c' = tegangan prakonsolidasi efektif

Apabila lapisan tanahnya heterogen (berlapis-lapis) maka formula perhitungan dapat dilakukan di setiap lapisannya, sehingga totalnya adalah :

$$S_c = \left[\frac{H_i}{1 + e_0} C_s \log \frac{\Delta p_i'}{p_{0'i}'} \right] \quad (\text{rumus 2.61})$$

Keterangan :

H_i = Tebal sub lapisan i

$p_{o' i}$ = *Overburden pressure* pada lapisan i

Δp_i = variasi tegangan vertical yang diterima oleh lapisan ke-i

Untuk tanah lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang dan sudah pernah mengalami prakonsolidasi σ_o , kurva konsolidasi lapangan adalah seperti yang ditunjukkan oleh garis *cbd* pada Gambar 2.15. Sedangkan garis *bd* adalah bagian dari kurva pemampatan asli. Hasil uji konsolidasi di laboratorium terhadap contoh tanah yang tingkat kerusakan strukturnya tidak terlalu besar adalah seperti yang ditunjukkan oleh kurva 2. Schmertmann (1953) menyimpulkan bahwa kemiringan garis *cb*, yang merupakan garis pemampatan ulang (*recompression*) lapangan, mempunyai kemiringan yang hampir sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) *fg* dari hasil uji konsolidasi di laboratorium.



Gambar 2.15 Karakteristik konsolidasi lempung yang *overconsolidated*.

Jumlah relatif dari prakonsolidasi biasanya dinyatakan dalam rasio konsolidasi berlebih (*overconsolidation ratio* = OCR) yang didefinisikan sebagai :

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \quad (\text{rumus 2.62})$$

Keterangan :

σ'_c = tekanan efektif prakonsolidasi

σ'_o = tekanan vertikal efektif prakonsolidasi

Apabila $\sigma'_o = \sigma'_c$, maka tanah mungkin terkonsolidasi secara normal dengan gangguan pada saat pengambilan contohnya, sehingga menyebabkan suatu perbedaan yang kecil. Apabila $\sigma'_c < \sigma'_o$, tanah tersebut mungkin terkonsolidasi secara normal, tetapi perbedaan yang besar harus di teliti. Apabila $\sigma'_c > \sigma'_o$, maka tanah tersebut dapat dianggap mengalami prakonsolidasi. Ketiga kondisi antara σ'_c dan σ'_o tersebut menghasilkan OCR sebagai berikut:

- a) Apabila $\text{OCR} > 1$, tanah mengalami prakonsolidasi.
- b) Apabila $\text{OCR} \approx 1$, Tanah termasuk terkonsolidasi secara normal.

2.8.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan *Consolidation Settlement* (S_c)

Berikut ini adalah cara menentukan parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan *consolidation settlement* :

- a) Tebal lapisan *compressible*

Tebal lapisan *compressible* (H) yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami proses konsolidasi primer, yaitu yang memiliki

nilai N-SPT < 10. Sedangkan untuk tanah dengan N-SPT > 10 dianggap sudah tidak mengalami proses konsolidasi primer sehingga tidak perlu diperhitungkan sebagai bagian dari tebal lapisan *compressible* (H).

b) Beban atau *Surcharge*

Surcharge yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan ditentukan dari distribusi tegangan tanah yang dialami.

$$p_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \times h_{\text{timbunan}} \quad (\text{rumus 2.63})$$

Keterangan :

γ_{timbunan} = berat volume dari timbunan

h_{timbunan} = tinggi timbunan

Bila timbunan terendam air, maka dipakai γ_{timbunan} efektif (γ')

c) Distribusi tegangan tanah

Adanya beban dipermukaan tanah akan meningkatkan tegangan pada lapisan tanah dibawahnya. Beban bekerja dalam satu arah dan akan segera disebarkan pada kedalaman tanah. Semakin dalam lapisan tanah, maka tegangan yang diterima akan semakin kecil. Peningkatan tegangan pada tanah ($\Delta \sigma$) tentunya memberikan kontribusi bagi terjadinya settlement. akibat beban dapat dihitung dengan persamaan sederhana yang dikembangkan oleh Boussinesq dalam Lincoln, 2015.

$$\sigma_z = q_o \times I_z \quad (\text{rumus 2.64})$$

Keterangan :

- σ_z = tegangan tanah pada kedalaman z
 q_0 = permukaan tempat kontak tegangan
 tegangan
 = beban *embankment*
 = $H \times \gamma_{\text{timbunan}}$
 I_z = nilai pengaruh dilihat pada grafik

Boussinesq mengembangkan persamaan untuk berbagi bentuk beban, diantaranya yang digunakan pada perencanaan adalah :

1. Beban Trapesium
 - a) Disebabkan oleh timbunan
 - b) Nilai I dapat dilihat pada Gambar 2.16
 - c) Nilai I untuk separuh timbunan, untuk embankment penuh :

$$\sigma_z = q_0 \times (2I_z) \quad (\text{rumus 2.65})$$

I tergantung dari b/z dan a/z.

- B = setengah lebar timbunan.
 a = rasio horizontal lereng timbunan x tinggi timbunan
 z = jarak dari dasar timbunan ke titik tengah lapisan yang ditinjau

2. Beban Persegi Empat
 - a) Disebabkan oleh perkerasan / pavement.
 - b) Persamaan untuk tegangan dibawah ujung beban persegi empat (*a uniformly loaded rectangular area*) :

$$\sigma_z = q_0 \times \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{1/2}}{m^2 + n^2 + 1 + m^2 + n^2} \times \frac{(m^2 + n^2 + 1)}{m^2 + n^2 + 1} + \arctan \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{1/2}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2 + n^2} \right]$$

(rumus 2.66)

Atau :

$$\sigma_z = q_0 \times I_z$$

$$m = x/z$$

$$n = y/z$$

x, y = panjang dan lebar beban (m dan n bisa dibolak balik) I tergantung dari m dan n

Nilai I dapat dilihat pada Gambar 2.17

Nilai I untuk $1/4$ luasan persegi empat, untuk pavement penuh :

$$\sigma_z = q_0 \times (4I_z) \quad (\text{rumus 2.67})$$

Atau dapat menggunakan rumus :

$$\Delta p = \frac{q_0}{\pi} \left[\left\{ \frac{(B_1 + B_2)}{B_2} x (\alpha_1 + \alpha_2) \right\} - \left\{ \frac{(B_1)}{B_2} x \alpha_2 \right\} \right]$$

Δp = besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan ditinjau dari tengah – tengah lapisan (T/m^2)

$$\alpha_1 = \arctan \frac{(B_1 + B_2)}{z} - \arctan \frac{(B_1)}{z} \text{ (rad)} \quad (\text{rumus 2.68})$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{(B_1)}{z} \text{ (radian)} \quad (\text{rumus 2.69})$$

$$B_1 = 0,5 \text{ lebar timbunan (130 m)}$$

$$B_2 = \text{panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan}$$

d) *Compression dan Swelling Index*

Harga *compression index* (C_c) dan *Swelling Index* (C_s) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*consolidation test*).

e) Angka Pori

Angka pori inisial (e_0) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*Volumetric* dan *Gravimetric*)

f) Overburden Pressure

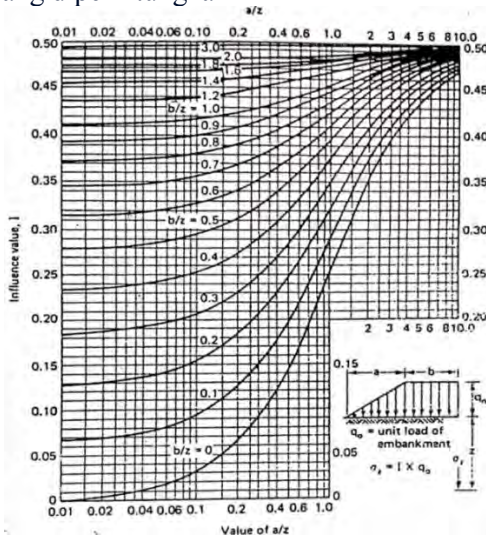
Overburden pressure effective (p_0') adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli, yaitu :

$$p_0' = \gamma' \times h \quad (\text{rumus 2.70})$$

Keterangan :

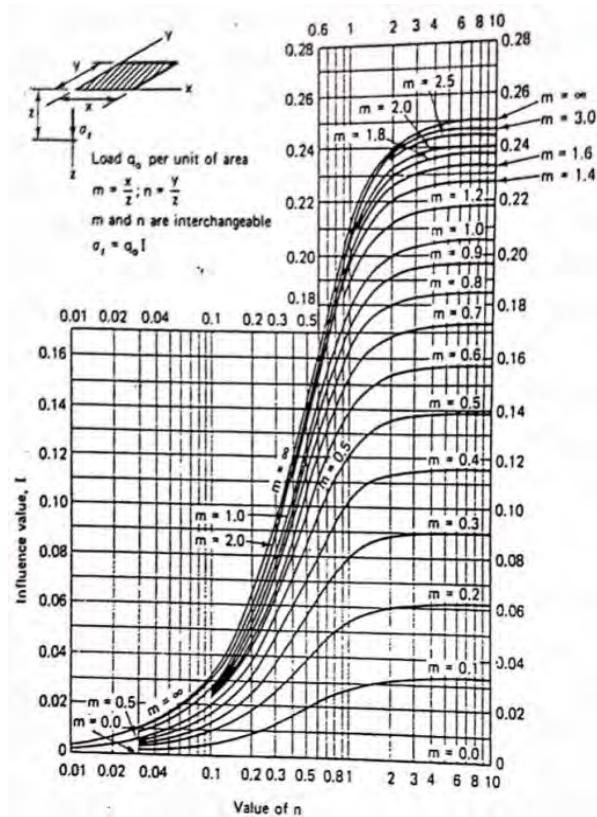
$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$ (bila ada air tanah)

h = setengah dari tebal lapisan lempung yang diperhitungkan



Gambar 2.16 Nilai pengaruh untuk tegangan vertical dibawah timbunan yang sangat panjang.

Panjang = ∞ (dari U.S. Navy, 1971, setelah Osterberg, 1957)



Gambar 2.17 Nilai pengaruh untuk tegangan vertical dibawah sudut beban merata persegi empat panjang (dari U.S. Navy, 1971)

2.9 Waktu Pemampatan Tanah

2.9.1 Lamanya Pemampatan Tanah

Menurut Das dalam Sutra, 2014, lama waktu konsolidasi (t) adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{T(H_{dr})^2}{C_v} \quad (\text{rumus 2.71})$$

Keterangan :

t = waktu konsolidasi

T_v = faktor waktu

C_v = koefisien vertikal (cm^2/s atau m^2/s)

H_{dr} = panjang aliran air *drainage* di dalam tanah (m)

2.9.2 Parameter Tanah untuk Lamanya Pemampatan Konsolidasi

a. Faktor Waktu

Faktor waktu T_v adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori (u) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan T_v dan U adalah (Tabel 2.15)

Tabel 2.15 Korelasi antara T_v dan U

$U\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T_v	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	∞

b. Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal C_v diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu (t). Berikut adalah persamaan yang dipakai :

$$C_v = \frac{0.197(H \times 2)^2}{t_{50}} \quad (\text{rumus 2.72})$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen dan mempunyai beberapa nilai C_v , maka harga C_v yang dipakai adalah nilai C_v gabungan (ABSI,1965).

$$C_{vgab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}} + \frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{Cv_n}} \right]^2}$$

(rumus 2.73)

Keterangan :

h_i = tebal lapisan i

Cv_i = Harga Cv lapisan i

c. Panjang aliran *drainage* H (Hdr)

Apabila tebal lapisan lempung (*compressible soil*) kita sebut H , maka panjang aliran *drainage* Hdr adalah :

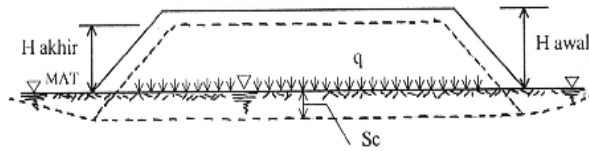
$Hdr = 1/2 H$, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah)

$Hdr = H$, bila arah aliran *drainage*-nya satu arah (ke atas atau ke bawah). Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya di bawah lapisan lempung tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*).

2.10 Metode *Preloading*

Penggunaan pra pembebanan (*preloading*) dan beban ekstra tambahan (*surcharge*) dalam suatu pelaksanaan reklamasi adalah untuk mempercepat terjadinya amplitudo dari *settlement* yang diprediksi. Ada 2 (dua) metode *preloading* dan *surcharge* yang umum dipakai yaitu :

- a) Dengan menaikkan harga tegangan efektif tanah (p')
- b) Dengan menurunkan harga tegangan air pori (u)



Gambar 2.18 Preloading
(sumber : Mochtar dalam Sutra, 2014)

2.10.1 Tinggi timbunan Awal ($H_{initial}$)

Tinggi timbunan awal pada saat pelaksanaan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Untuk menentukan tinggi timbunan rencana, memperhatikan besarnya pemampatan yang terjadi pada tanah asli. Untuk mencari besarnya tinggi timbunan awal ($H_{initial}$) pada timbunan reklamasi yang memiliki ketinggian air (H_w) memakai persamaan :

$$q = (H_w + Sc)\gamma'_{timb} + (H_{initial} - H_w - Sc)\gamma_{timb}$$

$$q = (H_{initial} \times \gamma_{timb}) - ((Sc + H_w)\gamma_{timb}) + ((Sc + H_w)\gamma'_{timb})$$

(rumus 2.74)

$$H_{initial} = \frac{q + (Sc + H_w) \times (\gamma_{timb} - \gamma'_{timb})}{\gamma_{timb}}$$

(rumus 2.75)

$$H_{akhir} = H_{initial} - Sc$$

(rumus 2.76)

Keterangan :

$H_{initial}$ = tinggi timbunan awal

H_{akhir} = tinggi timbunan akhir

Sc = total pemampatan tanah akibat timbunan H

γ'_{timb} = berat volume efektif material timbunan

H_w = tinggi muka air

Bila $\gamma_{sat} = \gamma_{timb}$, maka :

$$q = H_{initial} \times \gamma_{timb} - Sc \times \gamma_w \quad (\text{rumus 2.77})$$

$$H_{initial} = \frac{q + Sc \times \gamma_w}{\gamma_{timb}} \quad (\text{rumus 2.78})$$

2.10.2 Penentuan Tinggi Kritis (H_{cr})

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal preloading. Untuk menghitung tinggi timbunan kritis pada muka air yang berada di atas muka tanah, digunakan persamaan berikut :

$$H_{cr} = \frac{2 \times Cu}{\gamma_{timbunan}} \quad (\text{rumus 2.79})$$

Keterangan :

Cu = kohesi tanah dasar (t/m^2)

$\gamma_{timbunan}$ = berat volume tanah timbunan (t/m^2)

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)

2.11 Percepatan Waktu Konsolidasi

Apabila ternyata pemampatan yang direncanakan membutuhkan waktu yang sangat lama, dibutuhkan percepatan dalam proses konsolidasi tanah. Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat waktu konsolidasi adalah dengan pemasangan *Vertical Drain*.

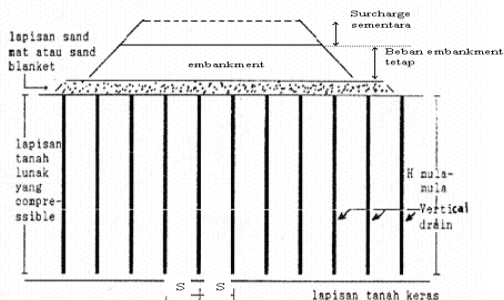
2.11.1 *Vertical Drain*

Fungsi utama digunakannya *vertical drain* dalam suatu lapisan tanah lempung “*compressible*” adalah untuk mempercepat proses konsolidasi primer. Metode perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* hakekatnya adalah untuk mereduksi

waktu antara dua fase pelaksanaan di saat diterapkannya penimbunan bertahap dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk memperoleh derajat konsolidasi *Vertical drain* dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe umum, yaitu : *sand drain*, *fabric encased drain*, dan *prefabricated vertical drain (PVD)*. Adapun untuk *PVD* itu sendiri bisa berupa karton, *textile*, plastik, atau material lainnya (bahan karung dan sabut kelapa). Pada umumnya *PVD* banyak digunakan karena kemudahan pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*). (Mochtar, 2000).

2.11.2 Menentukan Kedalaman *Vertical Drain*

Kedalaman *vertical drain* ditentukan oleh tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi (Gambar 2.24), yaitu sedalam H tanah. Besar kedalaman *vertical drain* dalam perencanaan ini dipasang sampai kedalaman tanah *compressible*, yaitu $N-SPT < 10$.



Gambar 2.20 Pemasangan *vertical drain* pada kedalaman lapisan *compressible*
(Sumber : Mochtar, 2000)

2.11.3 Menentukan Waktu Konsolidasi akibat *Vertikal Drain*

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan teori aliran pasir vertikal menurut Barron (1948), menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori tersebut menetapkan hubungan antara waktu, diameter drain, jarak antara drain, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori Barron (1948) adalah :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \times C_h} \right) \times F(n) \times \ln \left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad (\text{rumus 2.80})$$

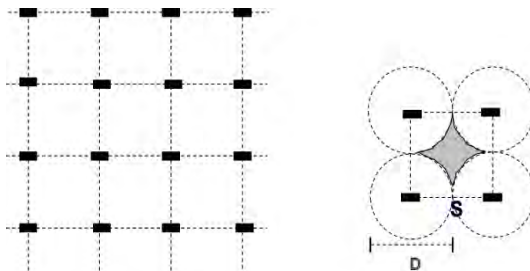
Keterangan :

t = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

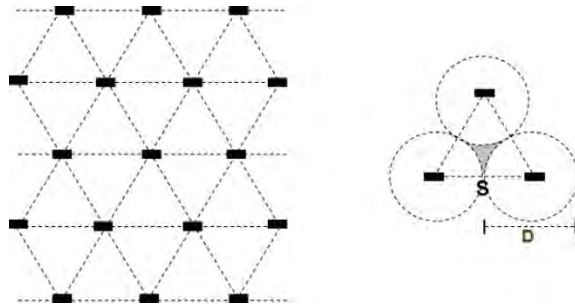
D = diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh *PVD*

Harga $D = 1,13 \times s$ untuk pola susunan bujur sangkar (Gambar 2.21) (rumus 2.82)

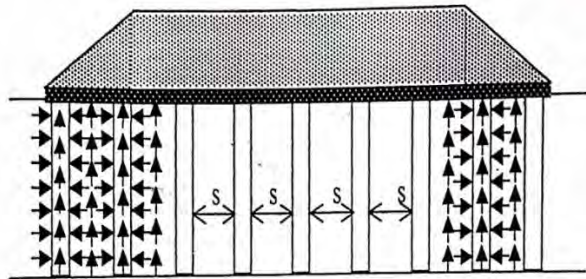
Harga $D = 1,05 \times s$ untuk pola susunan segitiga (Gambar 2.22) (rumus 2.83)



Gambar 2.21 Pola susunan *PVD* bujur sangkar
(Sumber : Mochtar, 2000)



Gambar 2.22 Pola susunan *PVD* segituga
(Sumber : Mochtar, 2000)



Gambar 2.23 Konsolidasi tanah lunak dengan
vertical drain.

C_h = koefisien konsolidasi tanah horisontal
= $(k_h/k_v) \cdot C_v$

k_h/k_v = perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah dasar arah horizontal dan vertikal, untuk tanah lempung yang jenuh air, harga (k_h/k_v) berkisar antara 2 sampai 5. (Sumber : Mochtar, 2000)

(rumus 2.81)

$F(n)$ = faktor hambatan yang disebabkan karena jarak antara *PVD*

Persamaan (2.41) oleh Barron diatas kemudian dikembangkan lagi oleh Hansbo (1979) untuk *PVD*. Teori Hansbo tersebut mendekati teori Barron, tetapi lebih disederhanakan dengan memasukan dimensi fisik dan karakteristik *PVD*.

Fungsi $F(n)$ merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat *PVD*. Oleh Hansbo (1979) harga $F(n)$ didefinisikan sebagai berikut :

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right] \text{ atau,}$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - 3/4 - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (\text{rumus 2.82})$$

Keterangan :

$n = D/dw$

dw = diameter ekuivalen dari vertikal drain.

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap

$$\frac{1}{4n} \approx 0 \text{ dan } \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \approx 1$$

Jadi:

$$F(n) = \ln(n) - 3/4, \text{ atau}$$

$$F(n) = \ln(D/dw) - 3/4$$

(rumus 2.83)

Hansbo (1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8.Ch} \right) [F(n) + F_s + F_r] \ln \left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right)$$

(rumus 2.84)

Keterangan :

Ch = koefisien konsolidasi aliran horisontal

$= (k_h/k_v) \cdot C_v$
 K_h/k_v = perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah arah

horizontal dan vertikal.

Untuk tanah lempung yang jenuh air, harga (k_h/k_v) berkisar antara 2 s/d 5.

$F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak antara *PVD*.

F_r = faktor hambatan akibat gangguan pada *PVD* sendiri.

F_s = faktor hambatan tanah yang terganggu (*disturbed*).

\bar{U}_h = derajat konsolidasi tanah arah horizontal.

F_s merupakan faktor yang disebabkan oleh ada tidaknya perubahan pada tanah disekitar *PVD* akibat pemancangan *PVD* tersebut. Faktor ini memasukan pengaruh “*disturbance*” (gangguan) terhadap tanah karena pemancangan tersebut. F_s dapat dirumuskan sebagai berikut : (Hansbo,1979).

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{ds}{dw} \right)$$

(rumus 2.85)

Keterangan :

k_s = koefisien permeabilitas arah horizontal pada tanah sudah terganggu (*disturbed*).

ds = diameter daerah yang terganggu (*disturbed*).

dw = equivalent diameter.

Dalam persamaan (2.77), adanya faktor F_s dan F_r cenderung memperlambat kecepatan konsolidasi.

Dari penyelidikan diketahui bahwa faktor yang paling penting adalah $F(n)$. Besar faktor (F_s) dapat mendekati atau bahkan sedikit lebih besar daripada $F(n)$, tergantung dari besarnya kerusakan pada tanahnya akibat pemancangan *PVD*. Dari data lapangan didapatkan harga $F_s/F(n)$ dapat berkisar antara 1 sampai 3. Untuk memudahkan perencanaan maka dapat diasumsikan bahwa $F(n) = F_s$. Pengaruh perlawanan aliran (F_r) umumnya kecil dan tidak begitu penting sehingga harga F_r dapat dianggap nol. Jadi $F(n) + F_s + F_r \approx 2F(n)$. Dengan memasukkan anggapan-anggapan tersebut, persamaan (2.77) berubah menjadi :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot Ch} \right) [2F(n)] \ln \left(\frac{1}{1 - \bar{U}h} \right) \quad (\text{rumus 2.86})$$

Keterangan :

T = waktu yang diperlukan untuk mencapai $\bar{U}h$.

D = diameter lingkaran.

Ch = koefisien konsolidasi aliran horisontal

$F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak antara *PVD*.

$\bar{U}h$ = derajat konsolidasi tanah arah horisontal

Selain konsolidasi arah horisontal, terjadi juga konsolidasi arah vertikal. Waktu konsolidasi vertikal sebagai berikut :

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{(H d r^2)}$$

$$t = \frac{T_v(Hdr^2)}{C_v}$$

(rumus 2.87)

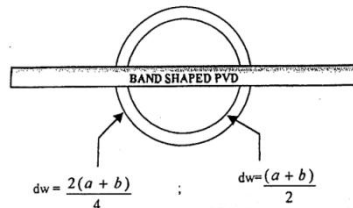
Keterangan :

t = waktu sembarang yang dipilih

Hdr = panjang *PVD*.Cv = harga Cv tanah pada lapisan setebal panjang *PVD*

Tv = bilangan tak berdimensi yang disebut faktor waktu.

PVD merupakan *geocomposite* terdiri dari inti penyalur air yang dibungkus dengan *filter fabric* (*Geotextile*) berbentuk persegi panjang pipih yang kemudian diekivalenkan dengan bentuk lingkaran (Gambar 2.25). Perhitungan aliran rembesan air kearah *PVD* dilakukan berdasarkan asumsi vertical sand drain berbentuk pipa. Jadi bentuk *PVD* yang pipih diasumsikan ekuivalen dengan suatu pipa dengan diameter dw .

**Gambar 2.24** Equivalent diameter untuk *PVD*.

Asal rumus :

Keliling Lingkaran = Keliling persegi panjang

$$\pi \times dw = 2(a+b)$$

$$dw = \frac{2(a+b)}{\pi} \rightarrow \pi = 3,14 \approx 4 \text{ (atau)}$$

$$dw = \frac{2(a+b)}{4} = \frac{a+b}{2} \quad (\text{rumus 2.88})$$

Keterangan :

a = panjang penampang melintang PVD.

b = lebar penampang melintang PVD.

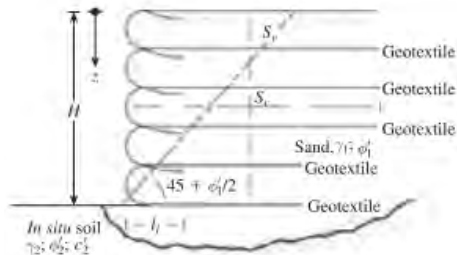
dw = diameter equivalent dari vertical (*equivalent* dengan bentuk lingkaran).

2.12 Geotextile Sebagai Perkuatan Dinding Vertikal

Penggunaan tanah bertulang mulai banyak digunakan saat ini. Perkuatan tanah dengan tambahan material konstruksi yang telah diperkuat oleh unsur-unsur tarik seperti batang logam atau strip, kain nonbiodegradable (geotekstil), geogrid, dan sejenisnya.

Keuntungan dari perkuatan tanah jenis ini didapatkan dari peningkatan kuat tarik dan geser.

Gambar 2.25 menjelaskan perkuatan dinding menggunakan geotextile.



Gambar 2.25 Perkuatan dinding menggunakan Geotextile.

1. Perhitungan Tekanan Horizontal

Koefisien Tekanan Aktif

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (\text{rumus 2.89})$$

$$\sigma_{hz} = \gamma \cdot z \cdot K_a \quad (\text{rumus 2.90})$$

$$\sigma_{hq} = q \cdot K_a \quad (\text{rumus 2.91})$$

$$\sigma_h = \sigma_{hz} + \sigma_{hq} \quad (\text{rumus 2.92})$$

Keterangan :

ϕ = sudut geser tanah ($^\circ$)

σ_{hz} = Tegangan horizontal tanah di belakang dinding (T/m²)

σ_{hq} = Tegangan horizontal akibat beban merata (T/m²)

σ_h = Tegangan horizontal total (T/m²)

2. Kuat Tarik Ijin

$$T_{\text{allow}} = \frac{T}{F_{sid} \cdot F_{scr} \cdot F_{scd} \cdot F_{sbd}} \quad (\text{rumus 2.93})$$

Keterangan :

T_{allow} = Kuat tarik ijin (Ton)

T = Kuat tarik geotextile (Ton)

F_{sid} = Faktor keamanan untuk instalasi

F_{scr} = Faktor keamanan untuk rangkai

F_{scd} = Faktor keamanan untuk kimiawi

F_{sbd} = Faktor keamanan untuk biologi

3. Jarak Vertikal Pemasangan Geotextile (S_v)

$$S_v = \frac{T}{\sigma_h \cdot F_S} \quad (\text{rumus 2.94})$$

Keterangan :

S_v = Jarak vertikal pemasangan geotextile (cm)

σ_h = Tegangan horizontal tanah di belakang dinding (T/m²)

4. Panjang Geotextile

a. Panjang Geotextile belakang bidang longsor (L_e)

$$L_e = \frac{S_v \cdot \sum h \cdot SF}{(c + \gamma l \cdot z \tan \delta)} \quad (\text{rumus 2.95})$$

Keterangan :

S_v = Jarak vertikal pemasangan geotextile (m)

b. Panjang Geotextile Tertanam (L_o)

$$L_o = \frac{1}{2} \cdot L_e \quad (\text{rumus 2.96})$$

Keterangan :

L_e = Panjang Geotextile belakang bidang longsor
(m)

5. Cek Stabilitas**a. Cek Terhadap Guling**

$$\frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{dorong}}} > 3 \quad (\text{rumus 2.97})$$

b. Cek Terhadap Daya Dukung

$$\frac{\sigma_{\text{thdasar}}}{\sigma_{\text{max}}} > 1,2 \quad (\text{rumus 2.98})$$

c. Cek Terhadap Geser

$$\frac{P_{\text{penahan}}}{P_{\text{dorong}}} > 1,2 \quad (\text{rumus 2.99})$$

2.13 Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan cara Replace Tanah Dasar

Rumus untuk menentukan ketebalan replacement sebagai berikut :

$$\frac{C.Nc}{SF} \geq \frac{q_u.B.L}{(B+h).(L+h)} \quad (\text{rumus 2.100})$$

Keterangan :

C = Kohesi lempung (T/m²)

Nc = Koefisien daya dukung

q_o = Beban timbunan

B = Lebar timbunan (m)

L = Panjang Timbunan (m)

H = Kedalaman galian

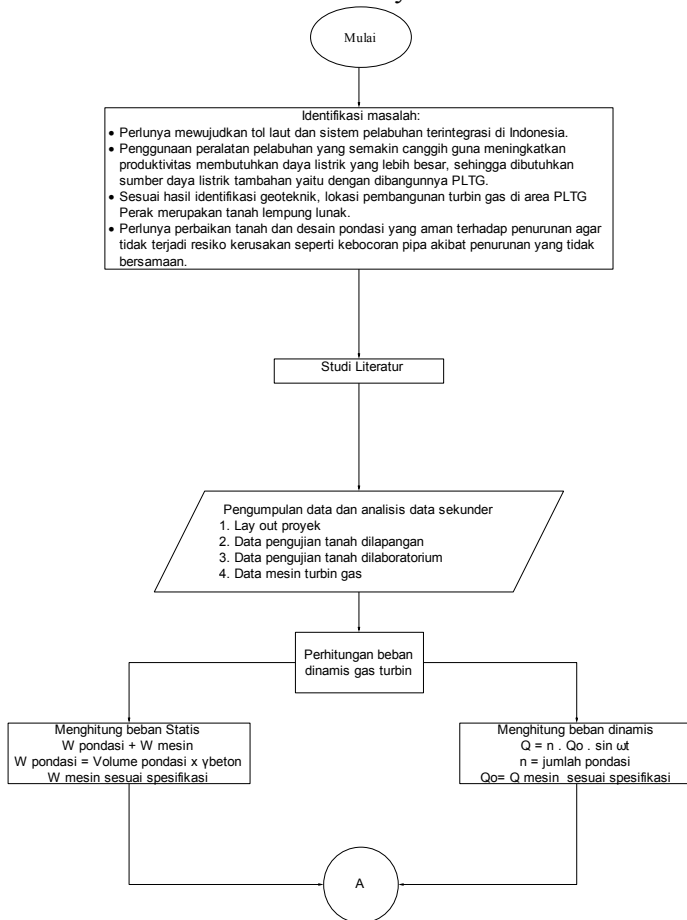
SF = 1,5

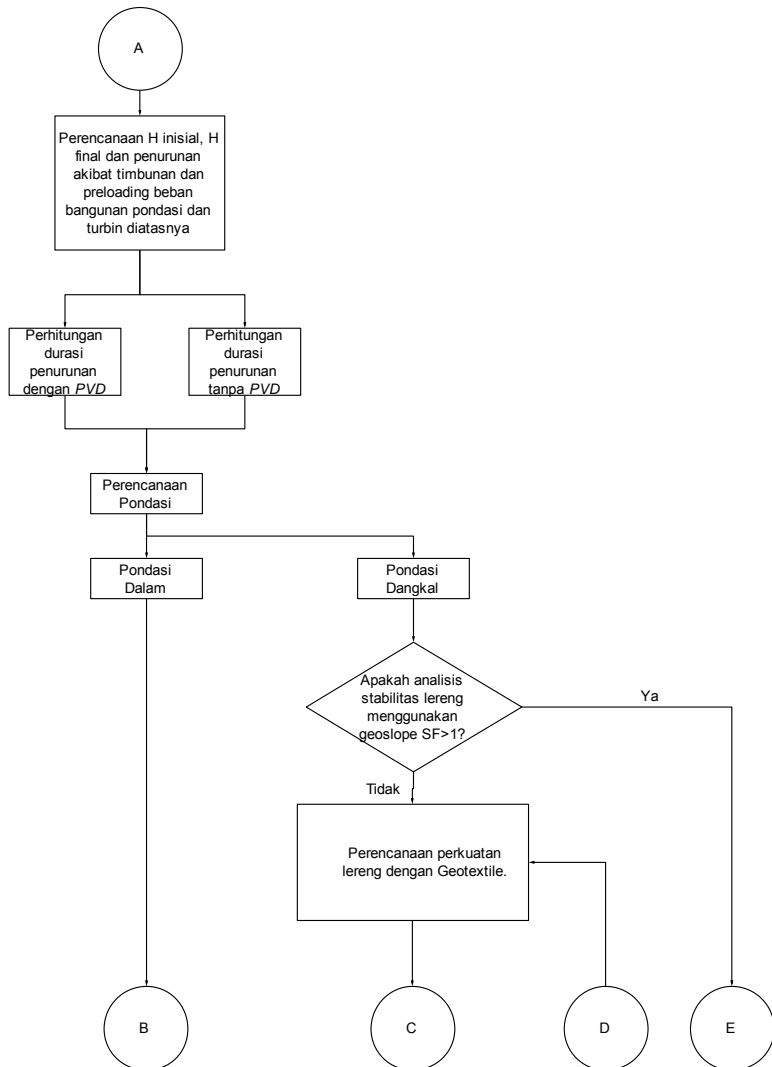
Halaman ini sengaja dikosongkan

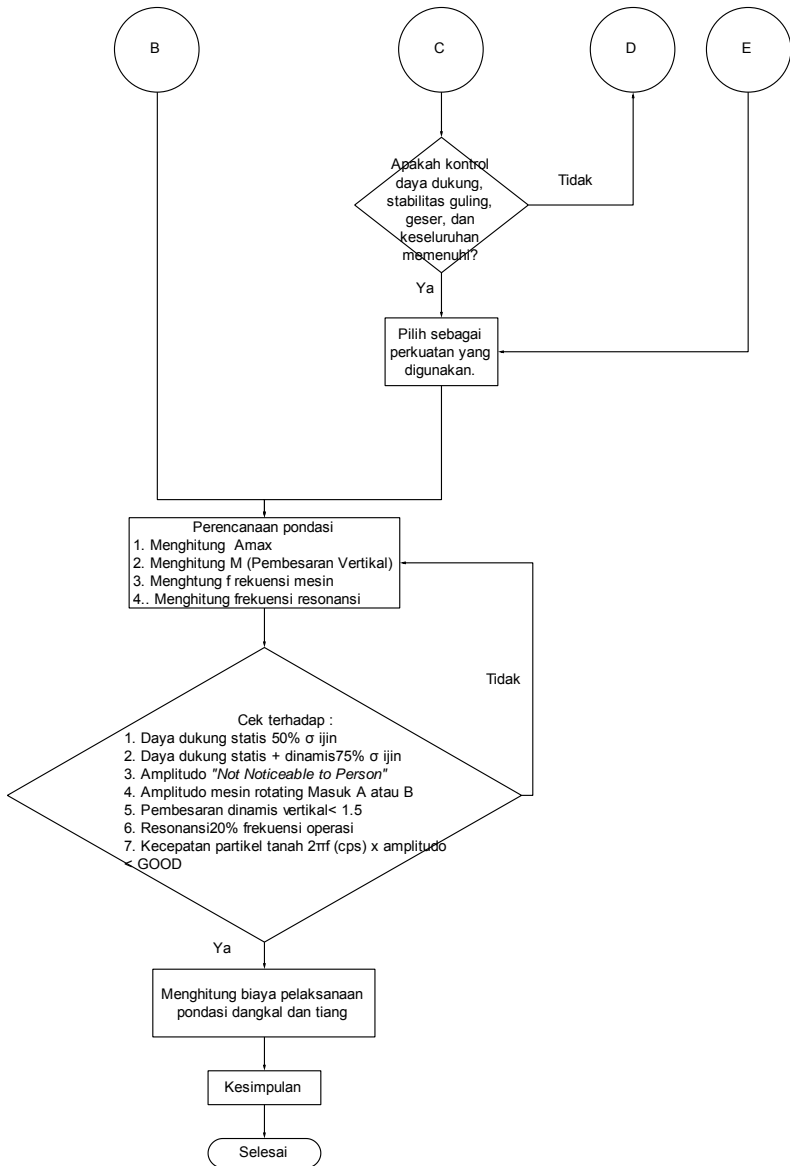
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Berikut bagan alir dalam penulisan tugas akhir Perbaikan Tanah Lunak pada Proyek Pembangunan Pondasi Dinamis Gas Turbine PLTG Perak Surabaya.







Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

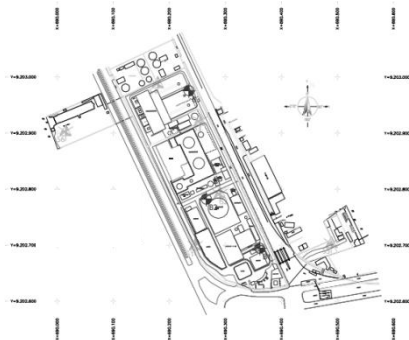
3.2 Studi Literatur

Studi literatur yang dimaksudkan adalah mengumpulkan materi-materi yang akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan. Adapun bahan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Teori getaran
2. Teori *Lumped Parameter System*.
3. Teori pemampatan/settlement.
4. Teori waktu konsolidasi.
5. Teori *preloading*.
6. Teori perencanaan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*..
7. Teori perencanaan Geotekstil.
8. Teori perencanaan *Micropile*.
9. Perhitungan stabilitas daya dukung.
10. Perhitungan pondasi dangkal.
11. Perhitungan pondasi dalam.
12. Perhitungan biaya pelaksanaan pondasi.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Layout Proyek



Gambar 3.2 Layout Proyek PLTG Perak Surabaya

Lokasi proyek berada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Bangunan turbin dibuat pada areal BH 2. Penentuan titik diatas didasarkan pada pertimbangan:

1. Tipe bangunan (bangunan ringan, berat, sedang).
2. Jumlah titik permintaan.
3. Kondisi lokasi.

3.3.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan

Data yang digunakan adalah data sekunder hasil penyelidikan tanah oleh LPPM - ITS di lokasi pembangunan Pembangkit Listrik Tanjung Perak Surabaya berupa survey geoteknik dengan metode ASTM dilaksanakan untuk mengetahui kondisi tanah dibawah permukaan (*sub-surface*) dengan menggunakan bor mesin yang dilengkapi dengan tripod, *SPT* dan *core barrel* disertai dengan pengambilan sampel.

a. Sondir ringan (2.5 Ton)

Pekerjaan sondir yang telah dilakukan di lapangan sebanyak 6 (enam) titik.

b. Pengambilan contoh tanah yang dilakukan di lapangan berupa contoh tanah asli (UD) maupun contoh tanah tidak asli (DS). Interval pengambilan adalah sebagai berikut:

1. Contoh tanah asli (*undisturbed sample*) diambil setiap 6 meter.
2. Contoh tanah tidak asli (*disturbed sample*) diambil setiap 0.50 meter.

3.3.3 Penyelidikan Tanah di Laboratorium

a. Tanah tidak terganggu (*Undisturbed sample*)

Contoh tanah tidak terganggu (*Undisturbed sample*) ini dipersiapkan untuk diuji di laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah yang benar benar asli. Macam pengujian adalah sebagai berikut :

- Atterberg limit
- Analisa ayakan
- b. Tanah terganggu (*Disturbed sample*)
 Contoh tanah terganggu (tidak asli) ini diambil dengan tujuan untuk digunakan pengamatan jenis tanah secara visual, selain itu juga dipersiapkan untuk dilakukan pengujian di laboratorium bila contoh tanah asli yang diambil dari lapangan seperti pada point 1 di atas tidak mencukupi, macam test untuk contoh tanah terganggu (tidak asli) ini adalah atterberg limit, analisa ayakan & hydrometer

3.4 Pengumpulan dan Analisis Data

Data-data yang dipakai adalah data sekunder:

1. Lay out proyek
2. Data pengujian tanah dilapangan
3. Data pengujian tanah dilaboratorium
4. Data mesin turbin gas

3.5 Perhitungan Beban Dinamis Turbin Gas

Perhitungan beban dinamis turbin gas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi beban mesin yang beroperasi terhadap penurunan tanah.

3.6 Perencanaan Timbunan *Preloading*

Timbunan digunakan sebagai beban untuk membantu konsolidasi tanah sehingga tanah siap untuk dibangun pondasi gas turbin diatasnya. Apabila durasi konsolidasi jauh melebihi durasi konstruksi (hingga bertahun – tahun) digunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* untuk percepatan konsolidasi.

3.7 Stabilitas Timbunan

Perlu adanya pengecekan stabilitas timbunan setelah H final tercapai. Apabila timbunan sudah stabil maka tidak perlu perkuatan, namun jika tidak stabil, maka timbunan diberi perkuatan berupa geotekstil atau *micropile*.

3.8 Perencanaan Pondasi Mesin

Perencanaan pondasi mesin menggunakan metode *Linear Lumped Parameter System*.

3.9 Kesimpulan

Bab ini menjelaskan hasil perbaikan tanah pembangunan pondasi beban dinamis turbin gas dan jenis pondasi yang direkomendasikan berdasarkan biaya paling rendah.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

ANALISIS

4.1 Data Perencanaan

4.1.1 Data Alat

Perencanaan pondasi dalam tugas akhir ini menggunakan *Gas Turbine* merk Ansaldo Energia tipe AE64.3A. Data alat tersebut sebagai berikut:

Ukuran	: Panjang 12 meter
	Lebar 5 meter
	Tinggi 4 meter
Output	: 111,7 Megawatt
Kecepatan	: 3000 rpm
Berat	: 100 Ton

4.1.2 Data Pilecap

Ukuran	: Panjang 14 meter
	Lebar 6,2 meter
	Tebal 2,2 meter
	(2 meter tertanam)

4.1.3 Data Tiang Pancang

Panjang tiang	: 26 m
Diameter tiang	: 0,5 m
Tebal tiang	: 0,09 m
Mutu tiang	: K450 = $f'c$ 37,35 MPa
E Tiang (Ep)	: $4700 \sqrt{f'c}$
	: 28723,88 MPa

4.2 Beban

4.2.1 Beban Mati

W pilecap	= Volume pondasi x γ beton
	= $190,96 \times 2.4 \text{ T/m}^3$
	= 458,30 Ton

$$\begin{aligned}
 W_{\text{mesin}} &= 100,00 \text{ Ton} \\
 W_{\text{total}} &= W_{\text{pilecap}} + W_{\text{mesin}} \\
 &= 558,30 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Beban Hidup

Beban hidup dihasilkan dari berat rotor yang bergerak membentuk gaya sentrifugal.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Rotor} &= 20 \text{ T (20\% } W_{\text{mesin}}) \\
 Q_o &= m \times e \times \omega^2 \\
 \omega &= 2 \times \pi \times f \\
 &= 2 \times \pi \times (3000/60) \\
 &= 314,16 \text{ rad/s} \\
 e &= 0.002 \text{ inch} = 0.0000508 \text{ m} \\
 Q_o &= (20/9,81) \times 0,0000508 \times 314,16^2 \\
 &= 10,22 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Penurunan Timbunan

4.3.1 Korelasi Data Tanah

Tidak adanya data menjadi penyebab diperlukannya korelasi. Data yang perlu dikorelasi adalah data C_c , C_s dan C_v . Korelasi data laboratorium secara empiris untuk parameter tanah lempung dirumuskan oleh Kosasih dan Mochtar (1997) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,007LL + 0,0001w_c^2 - 0,18 \\
 C_c &= 0,006LL + 0,13e_o^2 - 0,13 \\
 C_s &= 0,002LL + 0,00002w_c^2 - 0,06 \\
 C_s &= 0,002LL + 0,02w_c^2 - 0,05
 \end{aligned}$$

Nilai yang digunakan adalah nilai terkecil.

Data tanah tersedia :

Lapisan pertama kedalaman 0 – 5 m

$$e_o = 1,465$$

$$W_c = 58,74 \%$$

$$L_l = 70,34 \%$$

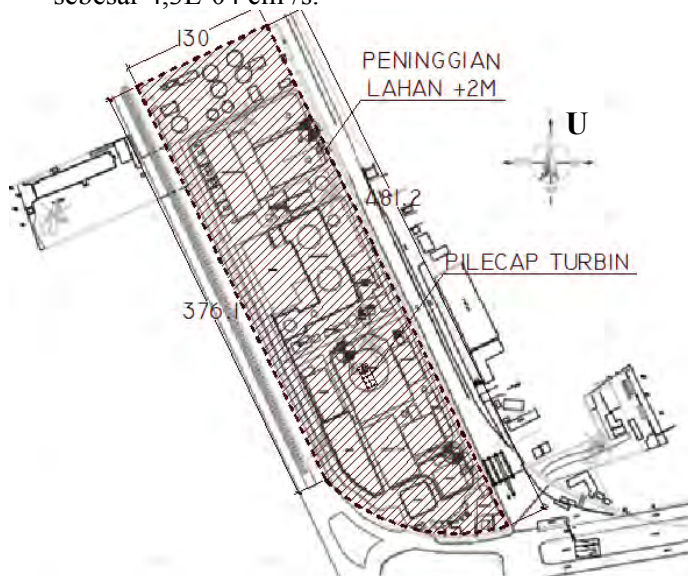
$$\gamma = 1,606 \text{ T/m}^3$$

$$C_c = 0,007LL + 0,0001w_c^2 - 0,18$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,007(70,34) + 0,0001(58,74)^2 - 0,18 \\
 &= 0,66 \\
 Cc &= 0,006LL + 0,13eo^2 - 0,13 \\
 &= 0,006(70,34) + 0,13(1,465)^2 - 0,13 \\
 &= 0,57 \\
 Cs &= 0,002LL + 0,00002wc^2 - 0,06 \\
 &= 0,002(70,34) + 0,00002(58,74)^2 - 0,06 \\
 &= 0,15 \\
 Cs &= 0,002LL + 0,02wc^2 - 0,05 \\
 &= 0,002(70,34) + 0,02(58,74)^2 - 0,05 \\
 &= 0,13
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas, nilai Cc sebesar 0,571 dan Cs sebesar 0,134.

Nilai korelasi Cv diambil dari tabel korelasi Biarez, untuk nilai $\gamma = 1,606 \text{ T/m}^3$ diambil nilai Cv sebesar $4,3\text{E-}04 \text{ cm}^2/\text{s}$.



Gambar 4.1 Layout pembangunan pilecap

1. Penentuan Tinggi Timbunan Awal (H_{initial})

Nilai H_{initial} didapatkan dari perhitungan pemampatan dengan variasi nilai beban (q). Beban tersebut adalah :

- Beban bangunan
- Beban akibat timbunan

Beban bangunan sebesar 1 T/m^2 , sedangkan untuk beban akibat timbunan diambil nilai sebesar 1 T/m^2 , 2 T/m^2 , 3 T/m^2 , 4 T/m^2 , 5 T/m^2 dan jenis beban tersebut dijumlahkan.

Setelah ditentukan jenis beban yang akan digunakan, langkah pertama adalah menghitung tegangan overburden (P_o'), tegangan pra konsolidasi (P_c') akibat fluktuasi muka air tanah, dan tambahan tegangan akibat timbunan (ΔP).

a. Tegangan Overburden (P_o')

Kedalaman muka air tanah berada pada $-1,7 \text{ m}$, fluktuasi $1,6 \text{ m}$ tebal lapisan $1 = 0,1 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_o'_1 &= z_1 \cdot \gamma_1 \\ &= 0,05 \cdot 1,606 \\ &= 0,080 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_o'_2 &= P_o'_1 + (0,5 h_1 \cdot \gamma_1) + (0,5 h_2 \cdot \gamma_2) \\ &= 0,080 + (0,5 \cdot 0,1 \cdot 1,606) + \\ &\quad (0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,606) \\ &= 0,433 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_o'_3 &= P_o'_2 + (0,5 h_2 \cdot \gamma_2) + (0,5 h_3 \cdot \gamma_3) \\ &= 0,433 + (0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,606) + (0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,606) \\ &= 1,009 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tegangan Pra Konsolidasi (P_c')

$$h_{\text{fluktuasi}} = 1,6 \text{ m}$$

$$P_c' = P_o' + \Delta P_f$$

$$\begin{aligned} \Delta P_f &= h_{\text{fluktuasi}} \cdot \gamma_w \\ &= (1,6 \cdot 1) \\ &= 1,600 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_c'_1 &= P_o'_1 + \Delta P_f \\
 &= 0,080 + 1,600 \\
 &= 1,680 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

c. Tambahan Tegangan Akibat Timbunan (ΔP)

$$\Delta p = \frac{q_o}{\pi} \left[\left\{ \frac{(B_1 + B_2)}{B_2} x (\alpha_1 + \alpha_2) \right\} - \left\{ \frac{(B_1)}{B_2} x \alpha_2 \right\} \right]$$

Keterangan :

q_o = Beban timbunan (T/m^2)

Nilai q_o dibuat variatif sehingga membentuk persamaan untuk menentukan H_{final} .

Δp = besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan ditinjau dari tengah – tengah lapisan (T/m^2)

$$\alpha_1 = \arctan \frac{(B_1 + B_2)}{z} - \arctan \frac{(B_1)}{z} \text{ (radian)}$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{(B_1)}{z} \text{ (radian)}$$

$$B_1 = 0,5 \text{ lebar timbunan (130 m)}$$

B_2 = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan

$$z_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$B_1 = 0,05 \times 130 = 65 \text{ m}$$

$$B_2 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \arctan \frac{(65)}{0,05} - \arctan \frac{(65)}{0,05} \\
 &= 0,00^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_2 &= \arctan \frac{(65)}{0,5} \text{ (radian)} \\
 &= 1,57^\circ
 \end{aligned}$$

$$q_o = 1 + 1 \text{ T/m}^2 = 2 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 2\Delta p &= \frac{1,606}{\pi} \left[\left\{ \frac{(65 + 0)}{0} x (0,00 + 1,57) \right\} - \left\{ \frac{(65)}{0} x 1,57 \right\} \right] \\
 &= 1,99 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

d. Penurunan Primer

Penurunan primer adalah penurunan yang terjadi pada lapisan tanah *compressible* yaitu tanah yang memiliki N-SPT < 10 dengan konsistensi berupa *very soft* hingga *medium stiff*.

Contoh lapisan tanah pertama, nilai $P_o' + \Delta p$ lebih besar dari nilai $P_{c'}$, maka perhitungan sebagai berikut:

$$P_o' + \Delta p = 0,08 + 2,00 \text{ T/m}^2 = 2,08 \text{ T/m}^2$$

$$P_{c'} = 1,680 \text{ T/m}^2$$

Gunakan rumus $(P_o' + \Delta p) > P_{c'}$

$$\begin{aligned} \text{Sci} &= \left[\frac{C_s}{1+e_o} \log \frac{P_{c'}}{P'_{o'}} + \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P'_{o'} + \Delta P}{P_{c'}} \right] H_i \\ &= \left[\frac{0,13}{1+1,465} \log \frac{1,680}{0,08} + \frac{0,57}{1+1,465} \log \frac{2,08}{1,680} \right] 0,1 \\ &= 0,009 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Hasil Hitungan Penurunan (Sc)

Penurunan Akibat Beban 1.0 T/m ²											q ⁺		l		t/m ²		
NO	Tebal Lapisan		z	e	Cc	Cs	γ atau γ'		P _o '	P _c '	Timbunan					P _o ' + ΔP	Sc
	m	m					t/m ²	t/m ²			q _g	B _g	B _g	α _g radian	α _g radian		
1	0.1	0.05	1.465	0.57	0.13	1.606	0.080	1.680	2.0	65	0	0.000	1.570	1.999	2.08	0.009	
2	0.9	0.55	1.465	0.57	0.13	0.606	0.433	2.0333	2.0	65	0	0.000	1.562	2.000	2.43	0.049	
3	1	1.5	1.465	0.57	0.13	0.606	1.009	2.609	2.0	65	0	0.000	1.548	2.000	3.01	0.037	
4	1	2.5	1.465	0.57	0.13	0.606	1.615	3.215	2.0	65	0	0.000	1.532	2.000	3.61	0.028	
5	1	3.5	1.465	0.57	0.13	0.606	2.221	3.821	2.0	65	0	0.000	1.517	2.000	4.22	0.023	
6	1	4.5	1.465	0.57	0.13	0.606	2.827	4.427	2.0	65	0	0.000	1.502	2.000	4.83	0.019	
7	1	5.5	1.465	0.57	0.13	0.606	3.433	5.033	2.0	65	0	0.000	1.486	1.999	5.43	0.017	
8	1	6.5	1.465	0.57	0.13	0.606	4.039	5.639	2.0	65	0	0.000	1.471	1.999	6.04	0.015	
9	1	7.5	1.465	0.57	0.13	0.606	4.645	6.245	2.0	65	0	0.000	1.456	1.999	6.64	0.013	
10	1	8.5	1.465	0.57	0.13	0.606	5.251	6.851	2.0	65	0	0.000	1.441	1.998	7.25	0.012	
11	1	9.5	0.794	0.00	0.00	0.852	5.980	7.58	2.0	65	0	0.000	1.426	1.997	7.98	0.000	
12	1	10.5	0.794	0.00	0.00	0.852	6.832	8.432	2.0	65	0	0.000	1.411	1.997	8.83	0.000	
13	1	11.5	0.794	0.00	0.00	0.852	7.684	9.284	2.0	65	0	0.000	1.396	1.995	9.68	0.000	
14	0.5	12.25	0.794	0.00	0.00	0.852	8.323	9.923	2.0	65	0	0.000	1.385	1.995	10.32	0.000	
15	1	13	1.36	0.54	0.13	0.692	8.882	10.482	2.0	65	0	0.000	1.373	1.994	10.88	0.008	
16	1	14	1.36	0.54	0.13	0.692	9.574	11.174	2.0	65	0	0.000	1.359	1.992	11.57	0.007	
17	1	15	1.36	0.54	0.13	0.692	10.266	11.866	2.0	65	0	0.000	1.344	1.990	12.26	0.007	
18	1	16	1.36	0.54	0.13	0.692	10.958	12.558	2.0	65	0	0.000	1.329	1.988	12.95	0.006	
19	1	17	1.36	0.54	0.13	0.692	11.650	13.25	2.0	65	0	0.000	1.315	1.986	13.64	0.006	
20	1	18	1.36	0.54	0.13	0.692	12.342	13.942	2.0	65	0	0.000	1.301	1.984	14.33	0.006	
21	1	19	1.294	0.48	0.11	0.698	13.037	14.637	2.0	65	0	0.000	1.286	1.981	15.02	0.005	
22	1	20	1.294	0.48	0.11	0.698	13.735	15.335	2.0	65	0	0.000	1.272	1.978	15.71	0.005	
23	1	21	1.294	0.48	0.11	0.698	14.433	16.033	2.0	65	0	0.000	1.258	1.975	16.41	0.004	
24	0.5	21.75	1.294	0.48	0.11	0.698	14.957	16.565	2.0	65	0	0.000	1.248	1.972	16.93	0.002	
25	1	22.5	1.217	0.47	0.12	0.74	15.501	17.101	2.0	65	0	0.000	1.238	1.969	17.47	0.004	
26	1	23.5	1.217	0.47	0.12	0.74	16.241	17.841	2.0	65	0	0.000	1.224	1.965	18.21	0.004	
27	2	25	1.217	0.47	0.12	0.74	17.351	18.951	2.0	65	0	0.000	1.204	1.959	19.31	0.007	

Total Penurunan Saat Beban 1,0 T/m² 0,292

e. Penurunan Segera

Penurunan segera terjadi pada lapisan pasir yang ada di antara lapisan *compressible* setebal 3,5 m.

Tebal lapisan pasir
 $= 3,5 \text{ m}$
 Jenis = Pasir lepas
 $z = 10,75 \text{ m}$
 Modulus Young (E)
 $= 20000 \text{ kN/m}^2$
 $\mu = 0,3$

Modulus Eodrometrik pasir (E')
 sesuai rumus 2.53

$$\begin{aligned} E &= E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \\ E' &= \frac{E}{\left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right)} \\ &= \frac{20000}{\left(1 - \frac{0,35^2}{1-0,3} \right)} \\ &= 26923,08 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan segera untuk nilai $q = 20 \text{ kN/m}^2$
 pasir sesuai rumus 2.53

$$\begin{aligned} S_i &= q \sum \frac{h_i}{E_i} \\ q &= 2 \text{ T/m}^2 \\ h_i &= 1,6 \text{ m} \\ S_i &= q \sum \frac{h_i}{E_i} \\ &= 2 \frac{3,5}{26923,08} = 0,0026 \text{ m} \end{aligned}$$

Hitungan selanjutnya dengan variasi nilai q dibuat dalam tabulasi sebagai berikut :

Tabel 4.2 Penurunan Segera Lapis Pasir

q	h	E'	Si
kN/m²	m	kN/m²	m
20	3,5	26923,08	0,0026
30	3,5	26923,08	0,0039
40	3,5	26923,08	0,0052
50	3,5	26923,08	0,0065
60	3,5	26923,08	0,0078

- f. H_{initial} yaitu tinggi timbunan yang dihamparkan dilapangan dengan tujuan setelah penurunan (Sc) selesai, maka tercapai tinggi rencana H_{final} .

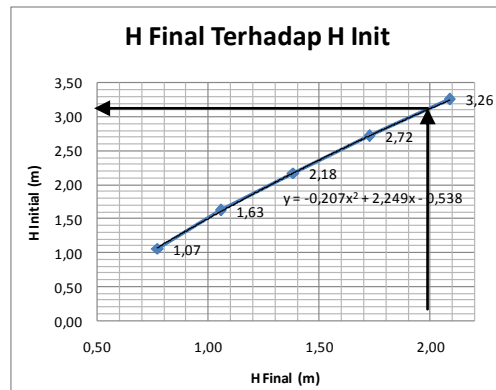
$$\begin{aligned}
 q_0 &= 2 \text{ T/m}^2 \\
 H_{\text{inisial}} &= \frac{q_{(i)} + (Sc_i \cdot (\gamma_{\text{timb}} + \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w))}{\gamma_{\text{timb}}} \\
 &= \frac{2 + (0,292 \cdot (1,970 + 1,606 - (1)))}{1,970} \\
 &= 1,07 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- g. H_{final}
- $$\begin{aligned}
 H_{\text{final}} &= H_{\text{inisial}} - Sc_{\text{timbunan}} - Sc_{\text{Immediate}} \\
 &= 1,07 - 0,292 - 0,003 \\
 &= 0,77 \text{ m}
 \end{aligned}$$

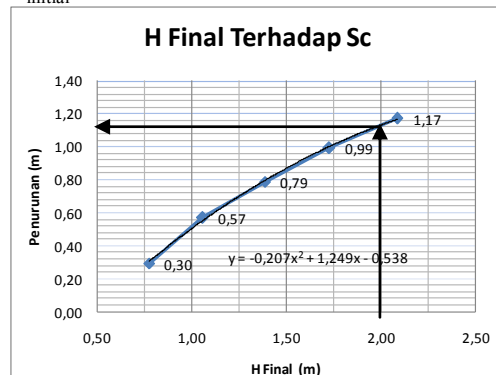
Nilai H_{final} didapatkan, lalu membuat grafik hubungan antara H_{final} terhadap H_{initial} dan H_{final} terhadap Sc dengan memperhatikan variasi nilai beban (q).

Tabel 4.3 Hasil Hitungan H_{final} Terhadap Variasi Nilai q

No	q	Sc Akibat Timbuna	Penurunan Segera	Sc Total	H Initial	H Final
	T/m ²	m	m	m	m	m
1	2,00	0,29	0,0030	0,30	1,07	0,77
2	3,00	0,56	0,0046	0,57	1,63	1,06
3	4,00	0,78	0,0061	0,79	2,18	1,38
4	5,00	0,98	0,0076	0,99	2,72	1,73
5	6,00	1,16	0,0091	1,17	3,26	2,09



Gambar 4.2 Grafik Hubungan H_{final} terhadap $H_{initial}$.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan H_{final} terhadap penurunan.

Sesuai grafik diatas, untuk H_{final} sebesar 2 meter, dibutuhkan H_{initial} 3,1 meter Sc 1,1 meter.

2. Penurunan Bertahap

Penimbunan bertahap dilaksanakan setebal 0,5 m hingga 0,6 tiap minggu. Akibat penimbunan bertahap ini, terjadi penurunan secara bertahap pula pada lapisan lempung.

Penurunan timbunan bertahap akibat timbunan setebal 0,6 m

$$q_0 = 0,6 \times 1,97 = 1,182 \text{ T/m}^2$$

$$z = 2,9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 2\Delta p &= \frac{1,182}{\pi} \left[\left\{ \frac{(65+0)}{0} x (0,00+1,57) \right\} - \left\{ \frac{(65)}{2,5} x 1,57 \right\} \right] \\ &= 1,182 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

Lapisan tanah pertama

$$Po' + \Delta p = 0,08 + 1,182 \text{ T/m}^2 = 1,262 \text{ T/m}^2$$

$$Pc' = 1,680 \text{ T/m}^2$$

Gunakan rumus $(Po' + \Delta p) \leq Pc'$

$$\begin{aligned} Sci &= \left[\frac{Cs}{1+e_0} \log \frac{P'_o + \Delta P}{P'_o} \right] Hi \\ &= \left[\frac{0,13}{1+1,465} \log \frac{1,262}{0,08} \right] 0,1 \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Hasil Hitungan Penurunan (Sc) Bertahap akibat beban timbunan 0,5 m.

NO	Tebal Lapisan		z	e	Cc	Cs	γ atau γ'	P ₀ '	P _c '	Timbunan						P ₀ ' + ΔP	Sc
	m	m								q ₀	B ₁	B ₂	α ₁	α ₂	2ΔP ₁		
	m	m								t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,57	0,13	1,606	0,080	1,680	0,985	65	0	0	1,570	0,985	1,065	0,006	
2	0,9	0,55	1,465	0,57	0,13	0,606	0,433	2,033	0,985	65	0	0	1,562	0,985	1,418	0,025	
3	1	1,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,548	0,985	1,994	0,016	
4	1	2,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,532	0,985	2,600	0,011	
5	1	3,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,517	0,985	3,206	0,009	
6	1	4,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,502	0,985	3,812	0,007	
7	1	5,5	1,465	0,57	0,13	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,486	0,985	4,418	0,006	
8	1	6,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,471	0,985	5,024	0,005	
9	1	7,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,456	0,984	5,629	0,005	
10	1	8,5	1,465	0,57	0,13	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,441	0,984	6,235	0,004	
11	1	9,5	0,794	0,00	0,00	0,852	5,980	7,580	0,985	65	0	0	1,426	0,984	6,964	0,000	
12	1	10,5	0,794	0,00	0,00	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,411	0,983	7,815	0,000	
13	1	11,5	0,794	0,00	0,00	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,396	0,983	8,667	0,000	
14	0,5	12,25	0,794	0,00	0,00	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,385	0,982	9,305	0,000	
15	1	13	1,36	0,54	0,13	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,373	0,982	9,864	0,003	
16	1	14	1,36	0,54	0,13	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,359	0,981	10,555	0,002	
17	1	15	1,36	0,54	0,13	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,344	0,980	11,246	0,002	
18	1	16	1,36	0,54	0,13	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,329	0,979	11,937	0,002	
19	1	17	1,36	0,54	0,13	0,692	11,650	13,250	0,985	65	0	0	1,315	0,978	12,628	0,002	
20	1	18	1,36	0,54	0,13	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,301	0,977	13,319	0,002	
21	1	19	1,294	0,48	0,11	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,286	0,976	14,013	0,002	
22	1	20	1,294	0,48	0,11	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,272	0,974	14,709	0,001	
23	1	21	1,294	0,48	0,11	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,258	0,972	15,405	0,001	
24	0,5	21,75	1,294	0,48	0,11	0,698	14,957	16,557	0,985	65	0	0	1,248	0,971	15,928	0,001	
25	1	22,5	1,217	0,47	0,12	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,238	0,970	16,471	0,001	
26	1	23,5	1,217	0,47	0,12	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,224	0,968	17,209	0,001	
27	2	25	1,217	0,47	0,12	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,204	0,965	18,316	0,002	
Total Penurunan Saat tahap Timbunan 0,5 m																	0,1169

4.4 Tinggi Surcharge Beban Pondasi

Setelah menghitung H_{initial} , kemudian dihitung nilai tinggi *surcharge*. Tinggi *surcharge* diperlukan sebagai pengganti berat pondasi saat pelaksanaan penimbunan dilapangan sehingga saat pemampatan selesai, pembangunan pondasi tidak lagi terpengaruh adanya penurunan.

Beban pondasi sesuai poin 4.2

Berat mati = 558,30 Ton

Berat Hidup = 10,22 Ton

Total = 568,52 Ton

Luas = $14 \times 6,2 = 86,8 \text{ m}^2$

q = Total Berat / Luas

= $568,52 / 86,8$

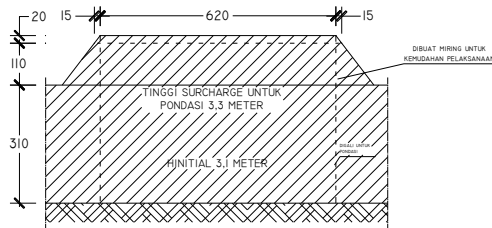
= $6,55 \text{ T/m}^2$

Nilai q dikonversi dalam bentuk tinggi *surcharge* dengan cara sebagai berikut :

$\gamma_{\text{timb}} = 1,97 \text{ T/m}^3$

$$H_{\text{surchage}} = \frac{q}{\gamma_{\text{timb}}} = \frac{6,55}{1,97} = 3,3 \text{ m}$$

Di lapangan telah tersedia timbunan setinggi 3,1 m, sehingga hanya perlu memberi timbunan tambahan setinggi 0,2 m. Timbunan tambahan akan dibongkar setelah pemampatan selesai hingga kedalaman 2 m untuk pembuatan pondasi dangkal, sehingga menyisakan surcharge setinggi 1,1 m yang masih terjadi pemampatan saat pembuatan pondasi, maka ditambahkan tinggi *surchage* yang dibongkar setinggi 1,1 m. Total tinggi *surchage* adalah 1,3 m/ Hasil perhitungan menghasilkan desain timbunan *surchage* sesuai gambar 4.4.



Gambar 4.4 Potongan melintang *surchage*

4.5 Perhitungan Waktu Konsolidasi.

Tanah lempung mempunyai permeabilitas yang kecil sehingga kemampuan dalam mengalirkan air sangat lambat. Akibat penambahan beban pada tanah lempung menyebabkan terdesaknya air untuk keluar lapisan dalam waktu yang lama menyebabkan terjadinya konsolidasi.

Konsolidasi adalah penurunan terkait dengan waktu. Setiap waktu memiliki tingkat konsolidasi dalam bentuk derajat konsolidasi, U (%). Konsolidasi dianggap selesai jika derajat konsolidasi mencapai 90%.

4.5.1 Perhitungan Waktu Konsolidasi Arah Vertikal dan Horisontal tanpa *PVD*

Tingkat penurunan lapisan tanah dapat diperkirakan dengan nilai koefisien konsolidasi vertikal, C_v yang didapatkan dari laboratorium.

Menurut Das dalam Sutra, 2014, lama waktu konsolidasi (t) adalah sesuai rumus :

$$C_{vgab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{C_{v_1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v_2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{v_n}}} \right]^2}$$

$$C_{vgab} = \frac{(9+0+6+3,5+4)^2}{\left[\frac{9}{\sqrt{4,30E-04}} + \frac{0}{\sqrt{8,50E-04}} + \frac{6}{\sqrt{6,00E-04}} + \frac{3,5}{\sqrt{6,140E-04}} + \frac{4}{\sqrt{6,710E-04}} \right]^2}$$

$$= 0,00053 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$= 0,03223 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

Koefisien konsolidasi horizontal diambil nilai 1/3 dari C_v .

$$C_{hgab} = C_{vgab}/3$$

$$= 0,00160 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$= 0,0967 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

Tabel 4.5 Perhitungan C_v dan C_h Gabungan

C_v	ΣH	C_v Gabungan		C_h Gabungan	
cm/s	m	cm ² /s	m ² /minggu	cm ² /s	m ² /minggu
4,30,E-04	9	0,00053	0,03223	0,00160	0,09670
8,50,E-04	0				
6,00,E-04	6				
6,14,E-04	3,5				
6,71,E-04	4				
Total	22,5				

3329,718097 minggu

64,03304033 Tahun

Nilai C_v gabungan digunakan untuk memperkirakan waktu konsolidasi dengan rumus berikut:

$$t = \frac{T(H_{dr})^2}{C_v}$$

$$T = 0,848 \text{ (Faktor waktu derajat konsolidasi 90\%)}$$

$$H_{dr} = 22,5/2$$

$$= 11,25 \text{ m } H_{dr} \text{ dibagi 2 karena terdapat lapisan pasir}$$

$$C_v = 0,03223$$

$$t = \frac{0,848(22,5/2)^2}{0,03223}$$

$$= 3329,7 \text{ minggu} = 64,03 \text{ tahun}$$

Karena waktu konsolidasi sangat lama, diperlukan pemasangan *PVD*.

4.5.2 Perhitungan Faktor Hambatan PVD dengan Pola Pemasangan segitiga dan segiempat.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah media drainasi yang ditanam di tanah *compressible* dengan kedalaman tertentu untuk membantu mempercepat konsolidasi. Waktu konsolidasi dari perhitungan sebelumnya selesai dalam waktu 50,76 tahun sehingga perlu dipercepat dengan pemasangan PVD di lapangan. Perencanaan PVD meliputi pemilihan jenis pola dan jarak pemasangan dengan cara membandingkan pola segitiga dan segiempat.

1. Pola Segitiga

a. Jarak pemasangan (S) PVD rencana pola segitiga:

$$S = 0,75 \text{ m}$$

$$D = 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,75 \times 1000$$

$$= 787,50 \text{ mm}$$

$$a = 100 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ mm}$$

b. Diameter ekuivalen *PVD*

$$D_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$$

$$= \frac{2(100+5)}{\pi}$$

$$= 66,85 \text{ mm}$$

$$n = \frac{D}{D_w}$$

$$= \frac{787,50}{66,85}$$

$$= 11,78$$

c. Fungsi hambatan akibat *PVD*

Perhitungan besar fungsi hambatan yang diakibatkan jarak antar *PVD* untuk berbagai variasi jarak pemasangan *PVD* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} F(n) &= \ln(D/D_w) - \frac{3}{4} \\ &= \ln(11,78) - \frac{3}{4} \\ &= 1,72 \end{aligned}$$

Hasilnya diberikan pada Tabel untuk pola pemasangan segitiga.

Tabel 4.6 Perhitungan Perhitungan Faktor Hambatan *PVD* dengan Pola Pemasangan Segitiga

Jarak <i>PVD</i> (S)	D	a	b	D _w	n = D/D _w	F(n)
(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0,75	787,50	100,00	5,00	66,85	11,78	1,72
1,00	1050,00	100,00	5,00	66,85	15,71	2,00
1,25	1312,50	100,00	5,00	66,85	19,63	2,23
1,50	1575,00	100,00	5,00	66,85	23,56	2,41
1,75	1837,50	100,00	5,00	66,85	27,49	2,56

d. Perhitungan derajat konsolidasi total

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal dan vertikal untuk jarak pemasangan *PVD*, direncanakan $S = 0,75$ m untuk tinggi timbunan 2,9 m dengan pola pemasangan segitiga dapat dihitung seperti contoh berikut:

Untuk :

$$S = 0,75 \text{ m}$$

$$D = 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,75 \times 1000$$

$$= 787,50 \text{ mm}$$

$$F(n) = 1,72$$

$$t = 1 \text{ minggu}$$

$$C_v = 0,03223 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$C_h = kh/k_v \cdot C_v \text{ berkisar } (2 - 5) \cdot C_v$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dipakai } Ch &= 3 \times C_v \\
 &= 3 \times 0,0322 \text{ m}^2/\text{minggu} \\
 &= 0,0967 \text{ m}^2/\text{minggu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_v &= \frac{t \cdot C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1,0,03223}{(22,5/2)^2} \\
 &= 2,547, \text{E-}04
 \end{aligned}$$

Derajat konsolidasi Vertikal :

$$\begin{aligned}
 U_v &= 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\% \\
 &= 2 \sqrt{\frac{2,547, \text{E-}04}{\pi}} \times 100\% \\
 &= 1,801 \text{E-}02 \%
 \end{aligned}$$

Derajat konsolidasi horisontal:

$$\begin{aligned}
 U_h &= \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{t \times 8 \times Ch}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{1 \times 8 \times 0,0967}{0,788^2 \times 2 \times 1,72} \right)}} \right) \right] \\
 &= 0,3047
 \end{aligned}$$

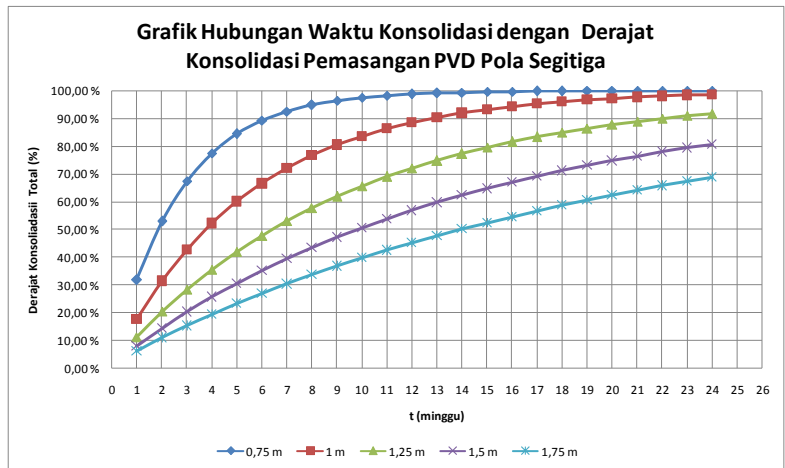
Derajat konsolidasi total:

$$\begin{aligned}
 U_{total} &= (1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)) \times 100 \\
 &= (1 - (1 - 0,3047) \cdot (1 - 1,801 \text{E-}02)) \times 100 \\
 &= 31,72 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan derajat konsolidasi total (U_{total}) untuk minggu selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segitiga

t (minggu)	Tv 0	Uv (%)	S = 0,75		S = 1,00		S = 1,25		S = 1,50		S = 1,75	
			Uh (%)	Utotal	Uh (%)	Utotal	Uh (%)	Utotal	Uh (%)	Utotal	Uh (%)	Utotal
1	0.00025468	0.018007327	0.305	31.718	0.161	17.570	0.096	11.217	0.063	7.954	0.044	6.092
2	0.00050935	0.025466206	0.517	52.882	0.295	31.333	0.183	20.341	0.121	14.377	0.085	10.878
3	0.00076403	0.031189605	0.664	67.429	0.409	42.698	0.261	28.403	0.176	20.213	0.125	15.273
4	0.0010187	0.036014654	0.766	77.465	0.504	52.139	0.332	35.591	0.228	25.585	0.164	19.379
5	0.00127338	0.040265607	0.837	84.400	0.583	60.002	0.396	42.024	0.276	30.555	0.200	23.242
6	0.00152806	0.044108763	0.887	89.196	0.650	66.560	0.454	47.793	0.322	35.168	0.235	26.890
7	0.00178273	0.047642909	0.921	92.515	0.706	72.034	0.506	52.974	0.364	39.455	0.269	30.343
8	0.00203741	0.050932412	0.945	94.814	0.754	76.606	0.554	57.630	0.404	43.444	0.301	33.617
9	0.00229209	0.054021981	0.962	96.405	0.793	80.426	0.596	61.818	0.441	47.161	0.331	36.725
10	0.00254676	0.056944168	0.974	97.508	0.826	83.620	0.635	65.586	0.476	50.625	0.360	39.677
11	0.00280144	0.059723547	0.982	98.273	0.854	86.291	0.670	68.978	0.509	53.855	0.388	42.483
12	0.00305611	0.062379211	0.987	98.802	0.878	88.525	0.702	72.032	0.540	56.868	0.415	45.152
13	0.00331079	0.064926341	0.991	99.169	0.897	90.394	0.730	74.783	0.569	59.681	0.441	47.691
14	0.00356547	0.067377248	0.994	99.424	0.914	91.958	0.756	77.261	0.596	62.306	0.465	50.108
15	0.00382014	0.069742078	0.996	99.600	0.928	93.266	0.780	79.493	0.621	64.758	0.488	52.409
16	0.00407482	0.072029308	0.997	99.723	0.939	94.362	0.801	81.505	0.645	67.047	0.511	54.601
17	0.0043295	0.074246111	0.998	99.808	0.949	95.278	0.820	83.319	0.667	69.186	0.532	56.688
18	0.00458417	0.076398618	0.999	99.867	0.957	96.046	0.837	84.953	0.688	71.184	0.553	58.677
19	0.00483885	0.078492119	0.999	99.907	0.964	96.688	0.853	86.427	0.708	73.051	0.572	60.573
20	0.00509352	0.080531215	0.999	99.936	0.970	97.226	0.867	87.756	0.726	74.795	0.591	62.379
21	0.0053482	0.082519939	1.000	99.955	0.975	97.677	0.880	88.954	0.743	76.426	0.609	64.101
22	0.00560288	0.084461851	1.000	99.969	0.979	98.054	0.891	90.034	0.759	77.949	0.626	65.742
23	0.00585755	0.086360107	1.000	99.979	0.982	98.370	0.902	91.009	0.774	79.374	0.642	67.307
24	0.00611223	0.088217526	1.000	99.985	0.985	98.634	0.911	91.887	0.788	80.706	0.658	68.800

**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi (t) dengan Derajat Konsolidasi Pola Segitiga

2. Pola Segiempat

a. Jarak pemasangan (S) PVD rencana pola segitiga:

$$S = 0,75 \text{ m}$$

$$D = 1,13 \times S$$

$$= 1,13 \times 0,75 \times 1000$$

$$= 847,50 \text{ mm}$$

$$a = 100 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ mm}$$

b. Diameter ekuivalen *PVD*

$$\begin{aligned} D_w &= \frac{2(a+b)}{\pi} \\ &= \frac{2(100+5)}{\pi} \\ &= 66,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{D}{D_w} \\ &= \frac{847,50}{66,85} \\ &= 12,68 \end{aligned}$$

c. Fungsi hambatan akibat *PVD*

Perhitungan besar fungsi hambatan yang diakibatkan jarak antar *PVD* untuk berbagai variasi jarak pemasangan *PVD* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} F(n) &= \ln(D/D_w) - \frac{3}{4} \\ &= \ln(12,68) - \frac{3}{4} \\ &= 1,79 \end{aligned}$$

Hasilnya diberikan pada Tabel untuk pola pemasangan segiempat.

Tabel 4.8 Perhitungan Perhitungan Faktor Hambatan *PVD* dengan Pola Pemasangan Segiempat

Jarak <i>PVD</i> (m)	D (mm)	a (mm)	b (mm)	D _w (mm)	n = D/D _w	F(n)
0,75	847,50	100,00	5,00	66,85	12,68	1,79
1,00	1130,00	100,00	5,00	66,85	16,90	2,08
1,25	1412,50	100,00	5,00	66,85	21,13	2,30
1,50	1695,00	100,00	5,00	66,85	25,36	2,48
1,75	1977,50	100,00	5,00	66,85	29,58	2,64

d. Perhitungan derajat konsolidasi total

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal dan vertikal untuk jarak pemasangan PVD, direncanakan $S = 0,75$ m untuk tinggi timbunan $2,9$ m dengan pola pemasangan segiempat dapat dihitung seperti contoh berikut:

Untuk :

$$S = 0,75 \text{ m}$$

$$D = 1,13 \times S$$

$$= 1,13 \times 0,75 \times 1000$$

$$= 847,50 \text{ mm}$$

$$F(n) = 1,79$$

$$t = 1 \text{ minggu}$$

$$C_v = 0,03223 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$Ch = kh/k_v \cdot C_v \text{ berkisar } (2 - 5) \cdot C_v$$

$$\text{Dipakai } Ch = 3 \times C_v$$

$$= 3 \times 0,0322 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$= 0,0967 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{t \cdot C_v}{(H_{dr})^2} \\ &= \frac{1 \cdot 0,03223}{(22,5/2)^2} \\ &= 2,547 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Derajat konsolidasi Vertikal :

$$\begin{aligned} U_v &= 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\% \\ &= 2 \sqrt{\frac{2,547 \cdot 10^{-4}}{\pi}} \times 100\% \\ &= 1,801 \cdot 10^{-2} \% \end{aligned}$$

Derajat konsolidasi horisontal:

$$U_h = \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{tx \cdot 8 \cdot Ch}{D^2 \cdot x \cdot F(n)} \right)}} \right) \right]$$

$$= \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{1 \times 8 \times 0,11137}{0,847^2 \times 2 \times 1,79} \right)}} \right) \right]$$

$$= 0,2598$$

Derajat konsolidasi total:

$$U_{total} = (1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)) \times 100$$

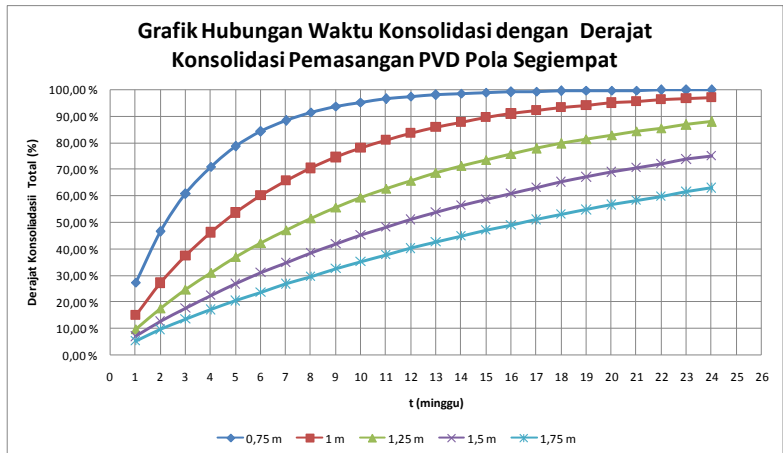
$$= (1 - (1 - 0,2598) \cdot (1 - 1,801E-02)) \times 100$$

$$= 27,31 \%$$

Perhitungan derajat konsolidasi total (U_{total}) untuk minggu selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat

t (minggu)	Tv 0	Uv (%)	S = 0,75		S = 1,00		S = 1,25		S = 1,50		S = 1,75	
			Uh (%)	Utotal (%)	Uh (%)	Utotal (%)	Uh (%)	Utotal (%)	Uh (%)	Utotal (%)	Uh (%)	Utotal (%)
1	0,00025468	0,018007327	0,260	27,315	0,136	15,123	0,081	9,736	0,053	6,983	0,037	5,416
2	0,00050935	0,025466206	0,452	46,608	0,253	27,196	0,155	17,661	0,103	12,561	0,072	9,589
3	0,00076403	0,031189605	0,594	60,713	0,354	37,443	0,223	24,759	0,150	17,662	0,106	13,429
4	0,0010187	0,036014654	0,700	71,065	0,442	46,199	0,286	31,183	0,195	22,396	0,139	17,031
5	0,00127338	0,040265607	0,778	78,677	0,518	53,703	0,344	37,023	0,237	26,816	0,171	20,437
6	0,00152806	0,044108763	0,836	84,280	0,583	60,144	0,397	42,344	0,278	30,956	0,202	23,673
7	0,00178273	0,047642909	0,878	88,408	0,640	65,679	0,446	47,199	0,316	34,841	0,231	26,755
8	0,00203741	0,050932412	0,910	91,449	0,689	70,438	0,490	51,634	0,352	38,493	0,259	29,695
9	0,00229209	0,054021981	0,933	93,691	0,731	74,532	0,532	55,687	0,386	41,929	0,286	32,503
10	0,00254676	0,056944168	0,951	95,345	0,767	78,055	0,569	59,394	0,419	45,164	0,313	35,188
11	0,00280144	0,059723547	0,963	96,565	0,799	81,088	0,604	62,785	0,449	48,211	0,338	37,758
12	0,00305611	0,062379211	0,973	97,464	0,826	83,700	0,636	65,889	0,478	51,082	0,362	40,219
13	0,00331079	0,064926341	0,980	98,128	0,850	85,950	0,666	68,731	0,506	53,790	0,386	42,576
14	0,00356547	0,067377248	0,985	98,618	0,870	87,888	0,693	71,333	0,532	56,343	0,408	44,835
15	0,00382014	0,069742078	0,989	98,980	0,888	89,558	0,717	73,716	0,557	58,752	0,430	47,000
16	0,00407482	0,072029308	0,992	99,247	0,903	90,996	0,740	75,900	0,580	61,025	0,451	49,076
17	0,0043295	0,074246111	0,994	99,444	0,916	92,237	0,761	77,900	0,602	63,170	0,471	51,068
18	0,00458417	0,076398618	0,996	99,589	0,928	93,305	0,781	79,733	0,623	65,195	0,491	52,979
19	0,00483885	0,078492119	0,997	99,697	0,937	94,227	0,798	81,413	0,643	67,107	0,510	54,813
20	0,00509352	0,080531215	0,998	99,776	0,946	95,021	0,815	82,953	0,662	68,911	0,528	56,572
21	0,0053482	0,082519939	0,998	99,835	0,953	95,706	0,830	84,364	0,680	70,616	0,545	58,261
22	0,00560288	0,084461851	0,999	99,878	0,960	96,296	0,843	85,658	0,697	72,225	0,562	59,883
23	0,00585755	0,086360107	0,999	99,910	0,965	96,805	0,856	86,845	0,713	73,746	0,578	61,440
24	0,00611223	0,088217526	0,999	99,933	0,970	97,244	0,868	87,932	0,728	75,182	0,593	62,935



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi (t) dengan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat

4.6 Pola Pemasangan PVD

Penentuan pola pemasangan dan jarak spasi PVD harus disesuaikan dengan waktu konsolidasi yang direncanakan. Dalam kasus ini waktu konsolidasi yang direncanakan adalah 12 minggu.

Perencanaan ini menggunakan pola pemasangan segiempat dengan spasi 0,75 meter karena :

- 1) Luasan cakupan yang terpengaruhi dengan pola segiempat lebih maksimum.
- 2) Kemudahan dalam pemasangan.
- 3) Jarak spasi antar PVD yang digunakan adalah $S = 0,75$ meter atas pertimbangan dapat mencapai $U = 90\%$ dalam waktu 12 minggu (waktu konsolidasi yang diijinkan adalah 3 bulan). Sehingga pemilihan jarak pemasangan ini mampu menghemat biaya pemasangan PVD.

4.7 Kecepatan Pentahapan Beban Timbunan

Penentuan jadwal pentahapan beban timbunan perlu disesuaikan dengan kenaikan daya dukung pada lapisan tanah dasarnya dan memperhatikan tinggi timbunan kritis yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar.

Perhitungan tinggi timbunan kritis menggunakan persamaan:

$$H_{cr} = q_u / (\gamma_{\text{timbunan}} \times SF)$$

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 1/2 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

$$SF_{\text{kritis}} = 1$$

$$D_f = 0$$

$$\text{fungsi harga } \phi = 0$$

$$\text{maka } N_\gamma = 0$$

$$N_c = 5,71$$

$$N_q = 1,0$$

$$\text{Kohesi tanah dasar } (c) = 0,06 \text{ kg/cm}^2$$

sehingga,

$$q_u = c \cdot N_c$$

$$= 0,06 \times 5,71$$

$$= 0,343 \text{ kg/cm}^2$$

Tinggi timbunan kritis

$$\gamma_{\text{timbunan}} = 1,97 \text{ t/m}^3$$

$$H_{cr} = 0,343 / (1,97 \times 1)$$

$$H_{cr} = 1,74 \text{ m}$$

Dari data sebelumnya didapatkan:

$$H_{\text{inisial}} = 3,1 \text{ m}$$

$$\text{Surcharge} = 0,2 \text{ m}$$

Jumlah timbunan menerus sebanyak $1,74/0,5 = 3$ tahap.

Kecepatan pentahapan penimbunan = 50 cm/minggu
maka total tahapan penimbunan yang dibutuhkan sebanyak:

$$n = 3,3/0,5 = 6,6 \text{ tahapan}$$

$$= 7 \text{ tahapan}$$

4.8 Tahapan Penimbunan hingga Minggu Ke-3

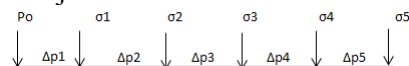
Tahap penimbunan tiap minggu sesuai ketinggian kritis setelah PVD terpasang menunjukkan nilai penurunan sebagai berikut :

Tabel 4.10 Umur Timbunan pada Minggu Ke 3

t	U	Penurunan Yang Terjadi Pada Tahap (m)						
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6	Tahap 7
minggu	%	-0,117	-0,283	-0,553	-0,783	-0,986	-1,167	-1,331857
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	27,315	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032
2	46,608	-0,054	-0,132	-0,132	-0,132	-0,132	-0,132	-0,132
3	60,713	-0,071	-0,172	-0,336	-0,336	-0,336	-0,336	-0,336
4	71,065	-0,083	-0,201	-0,393	-0,557	-0,557	-0,557	-0,557
5	78,677	-0,092	-0,223	-0,435	-0,616	-0,775	-0,775	-0,775
6	84,280	-0,098	-0,239	-0,466	-0,660	-0,831	-0,984	-0,984
7	88,408	-0,103	-0,251	-0,489	-0,693	-0,871	-1,032	-1,177
8	91,449	-0,107	-0,259	-0,506	-0,716	-0,901	-1,067	-1,218
9	93,691	-0,109	-0,266	-0,518	-0,734	-0,923	-1,093	-1,248
10	95,345	-0,111	-0,270	-0,528	-0,747	-0,940	-1,113	-1,270
11	96,565	-0,113	-0,274	-0,534	-0,756	-0,952	-1,127	-1,286
12	97,464	-0,114	-0,276	-0,539	-0,764	-0,961	-1,137	-1,298
13	98,128	-0,115	-0,278	-0,543	-0,769	-0,967	-1,145	-1,307
14	98,618	-0,115	-0,279	-0,546	-0,773	-0,972	-1,151	-1,313
15	98,980	-0,116	-0,281	-0,548	-0,775	-0,976	-1,155	-1,318
16	99,247	-0,116	-0,281	-0,549	-0,777	-0,978	-1,158	-1,322
17	99,444	-0,116	-0,282	-0,550	-0,779	-0,980	-1,161	-1,324
18	99,589	-0,116	-0,282	-0,551	-0,780	-0,982	-1,162	-1,326
19	99,697	-0,117	-0,283	-0,552	-0,781	-0,983	-1,163	-1,328
20	99,776	-0,117	-0,283	-0,552	-0,782	-0,983	-1,164	-1,329
21	99,835	-0,117	-0,283	-0,552	-0,782	-0,984	-1,165	-1,330
22	99,878	-0,117	-0,283	-0,553	-0,782	-0,984	-1,166	-1,330
23	99,910	-0,117	-0,283	-0,553	-0,783	-0,985	-1,166	-1,331
24	99,933	-0,117	-0,283	-0,553	-0,783	-0,985	-1,166	-1,331

Setelah pemasangan PVD, minggu ke 3 konsolidasi sebesar 60,713 % dengan penurunan sebesar 0,336 m. Agar pelaksanaan lebih cepat, direncanakan perkuatan lereng dengan geotextile di Bab V agar penimbunan bisa dilakukan secara menerus tiap minggu.

5 Menghitung tegangan ditiap lapisan tanah untuk derajat konsolidasi 100%



Gambar 4.7 Sketsa perubahan tegangan akibat beban bertahap untuk satu lapisan

$$\begin{aligned}
 \sigma_1' &= p_o + \Delta p_1 \\
 &= 0,080 + 0,985 \\
 &= 1,065 \text{ T/m}^2 \\
 \sigma_2' &= \sigma_1' + \Delta p_2 \\
 &= 1,065 + 0,985 \\
 &= 2,050 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

Harga P_o , σ_1 , σ_2 , σ_3 Dan seterusnya berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah

Tabel 4.11 Perubahan Tegangan di Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi, $U = 100\%$

Tegangan (t/m ²)	P_o'	σ_1'	σ_2'	σ_3'	σ_4'	σ_5'	σ_6'
Kedalaman (m)	H = 0,0 m	H = 0,5 m	H = 1,0 m	H = 1,5 m	H = 2,0 m	H = 2,5 m	H = 3,1 m
0 - 0,1	0,080	1,065	2,050	3,035	4,020	5,005	5,990
0,1 - 1	0,433	1,418	2,403	3,388	4,373	5,358	6,343
1 - 2	1,009	1,994	2,979	3,964	4,949	5,934	6,919
2 - 3	1,615	2,600	3,585	4,570	5,555	6,540	7,524
3 - 4	2,221	3,206	4,191	5,176	6,161	7,145	8,130
4 - 5	2,827	3,812	4,797	5,781	6,766	7,751	8,735
5 - 6	3,433	4,418	5,402	6,387	7,371	8,356	9,340
6 - 7	4,039	5,024	6,008	6,992	7,977	8,961	9,945
7 - 8	4,645	5,629	6,614	7,598	8,582	9,565	10,549
8 - 9	5,251	6,235	7,219	8,203	9,186	10,170	11,153
9 - 10	5,980	6,964	7,947	8,931	9,914	10,896	11,879
10 - 11	6,832	7,815	8,798	9,781	10,764	11,746	12,728
11 - 12	7,684	8,667	9,649	10,631	11,613	12,595	13,576
12 - 12,5	8,323	9,305	10,287	11,269	12,250	13,231	14,211
12,5 - 13,5	8,882	9,864	10,845	11,826	12,807	13,787	14,767
13,5 - 14,5	9,574	10,555	11,536	12,516	13,496	14,475	15,453
14,5 - 15,5	10,266	11,246	12,226	13,205	14,184	15,162	16,139
15,5 - 16,5	10,958	11,937	12,916	13,894	14,871	15,848	16,825
16,5 - 17,5	11,650	12,628	13,606	14,582	15,559	16,534	17,509
17,5 - 18,5	12,342	13,319	14,295	15,271	16,245	17,220	18,193
18,5 - 19,5	13,037	14,013	14,987	15,961	16,935	17,907	18,879
19,5 - 20,5	13,735	14,709	15,682	16,655	17,627	18,597	19,567
20,5 - 21,5	14,433	15,405	16,377	17,348	18,318	19,287	20,255
21,5 - 22	14,957	15,928	16,898	17,867	18,836	19,803	20,770
22 - 23	15,501	16,471	17,440	18,408	19,375	20,341	21,306
23 - 24	16,241	17,209	18,176	19,142	20,107	21,070	22,033
24 - 26	17,351	18,316	19,280	20,242	21,204	22,164	23,123

4.9 Perubahan Tegangan Efektif Akibat Beban Timbunan Derajat Konsolidasi < 100%

Kedalaman 1 m, tinggi timbunan 0,5, umur timbunan 9 minggu maka :

$$\begin{aligned}\Delta p_1 &= \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{0'}} \times \sigma_{0'} \right) - \sigma_{0'} \\ &= \left(\frac{0,825}{0,080} \times 0,080 \right) - 0,080 \\ &= 0,825 \text{ T/m}^2\end{aligned}$$

Tabel 4.12 Perubahan Tegangan di Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi, $U < 100\%$

Tegangan (t/m ²)	P _g '	Δp ₁ '	Δp ₂ '	Δp ₃ '	Δp ₄ '	Δp ₅ '	Δp ₆ '	Δp ₇ '	Σσ'
Tinggi Timbunan (m)	H = 0,0 m	H = 0,5 m	H = 1,0 m	H = 1,5 m	H = 2,0 m	H = 2,5 m	H = 3,0 m	H = 3,3 m	
Derajat Konsolidasi (%)	100	93,691	91,449	88,408	84,280	78,677	71,065	60,713	
Umur Timbunan (minggu)	-	9	8	7	6	5	4	3	
Kedalaman (m)									
0 - 0,1	0,080	0,825	0,873	0,850	0,811	0,756	0,682	0,580	5,458
0,1 - 1	0,433	0,883	0,879	0,853	0,813	0,679	0,683	0,581	5,804
1 - 2	1,009	0,901	0,884	0,856	0,815	0,681	0,684	0,582	6,414
2 - 3	1,615	0,908	0,888	0,858	0,817	0,683	0,686	0,583	7,038
3 - 4	2,221	0,912	0,890	0,860	0,818	0,685	0,687	0,584	7,656
4 - 5	2,827	0,914	0,891	0,861	0,819	0,686	0,687	0,585	8,271
5 - 6	3,433	0,915	0,893	0,862	0,820	0,687	0,688	0,586	8,883
6 - 7	4,039	0,916	0,893	0,862	0,821	0,687	0,689	0,586	9,494
7 - 8	4,645	0,917	0,894	0,863	0,821	0,688	0,689	0,586	10,103
8 - 9	5,251	0,917	0,894	0,863	0,821	0,688	0,689	0,587	10,711
9 - 10	5,980	0,917	0,894	0,863	0,822	0,689	0,689	0,587	11,442
10 - 11	6,832	0,917	0,894	0,863	0,822	0,689	0,690	0,587	12,295
11 - 12	7,684	0,917	0,894	0,863	0,822	0,689	0,690	0,587	13,147
12 - 12,5	8,323	0,917	0,894	0,863	0,822	0,689	0,689	0,587	13,785
12,5 - 13,5	8,882	0,917	0,894	0,863	0,821	0,689	0,689	0,587	14,342
13,5 - 14,5	9,574	0,916	0,893	0,862	0,821	0,689	0,689	0,587	15,031
14,5 - 15,5	10,266	0,916	0,893	0,862	0,820	0,688	0,688	0,586	15,719
15,5 - 16,5	10,958	0,915	0,892	0,861	0,819	0,688	0,688	0,586	16,406
16,5 - 17,5	11,650	0,914	0,891	0,860	0,819	0,687	0,687	0,585	17,093
17,5 - 18,5	12,342	0,913	0,890	0,859	0,818	0,686	0,686	0,584	17,779
18,5 - 19,5	13,037	0,912	0,889	0,858	0,816	0,685	0,685	0,584	18,466
19,5 - 20,5	13,735	0,911	0,888	0,857	0,815	0,685	0,684	0,583	19,157
20,5 - 21,5	14,433	0,909	0,886	0,855	0,814	0,683	0,683	0,582	19,846
21,5 - 22	14,957	0,908	0,885	0,854	0,813	0,683	0,682	0,581	20,362
22 - 23	15,501	0,907	0,884	0,853	0,812	0,682	0,681	0,580	20,899
23 - 24	16,241	0,905	0,882	0,851	0,810	0,680	0,680	0,579	21,629
24 - 26	17,351	0,902	0,879	0,849	0,807	0,678	0,677	0,577	22,721

4.10 Kenaikan Daya Dukung Tanah (Akibat Kenaikan Harga Cu)

Perubahan nilai Cu pada lapis 1:

$$PI = 39,10$$

$$Cu \text{ lama} = 0,060 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_p' = 5,458 \text{ kg/cm}^2$$

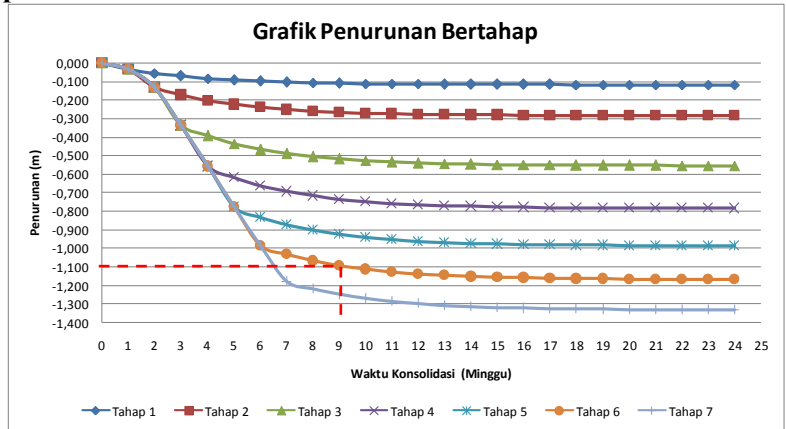
Nilai $PI < 120\%$

$$\begin{aligned} Cu' (\text{kg/cm}^2) &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 PI) \sigma_p' \\ &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 39,10) 5,458 \\ &= 0,143 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Perubahan Nilai Kohesi Undrained (Cu) pada Minggu Ke-9

Kedalaman m	PI	Cu lama	Cu baru
		kg/cm ²	kg/cm ²
0 - 0,1	39,100	0,060	0,143
0,1 - 1	39,100	0,060	0,148
1 - 2	39,100	0,060	0,155
2 - 3	39,100	0,060	0,163
3 - 4	39,100	0,060	0,171
4 - 5	39,100	0,060	0,179
5 - 6	39,100	0,060	0,187
6 - 7	39,100	0,060	0,195
7 - 8	39,100	0,060	0,202
8 - 9	39,100	0,060	0,210
9 - 10	0,000	0,000	0,291
10 - 11	0,000	0,000	0,307
11 - 12	0,000	0,000	0,323
12 - 12,5	0,000	0,000	0,335
12,5 - 13,5	43,000	0,050	0,247
13,5 - 14,5	43,000	0,050	0,256
14,5 - 15,5	43,000	0,050	0,264
15,5 - 16,5	43,000	0,050	0,272
16,5 - 17,5	43,000	0,050	0,281
17,5 - 18,5	43,000	0,050	0,289
18,5 - 19,5	34,790	1,200	0,322
19,5 - 20,5	34,790	1,200	0,331
20,5 - 21,5	34,790	1,200	0,340
21,5 - 22	34,790	1,200	0,347
22 - 23	36,010	0,420	0,350
23 - 24	36,010	0,420	0,360
24 - 26	36,010	0,420	0,374

4.11 Kebutuhan waktu untuk menyelesaikan penurunan.



Gambar 4.8 Grafik Penurunan Akibat Beban Bertahap

Dari gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa pemasangan PVD dapat menyelesaikan penurunan sebesar 1,1 m dalam waktu 9 minggu.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

PERENCANAAN PONDASI

5.1 Data Perencanaan

5.1.1 Data Alat

Perencanaan pondasi dalam tugas akhir ini menggunakan *Gas Turbine* merk Ansaldo Energia tipe AE64.3A. Data alat tersebut sebagai berikut:

Ukuran	: Panjang 12 meter Lebar 5 meter Tinggi 4 meter
Output	: 111,7 Megawatt
Kecepatan	: 3000 rpm
Berat	: 100 Ton

5.1.2 Data Pilecap

Ukuran	: Panjang 14 meter Lebar 6,2 meter Tebal 2,2 meter (2 meter tertanam)
--------	--

5.1.3 Data Tiang Pancang

Panjang tiang	: 26 m
Diameter tiang	: 0,5 m
Tebal tiang	: 0,09 m
Mutu tiang	: K450 = $f'c$ 37,35 MPa
E Tiang (Ep)	: $4700 \sqrt{f'c}$: 28723,88 MPa

5.2 Beban

5.2.1 Beban Mati

W pilecap	= Volume pondasi x γ beton = $190,96 \times 2.4 \text{ T/m}^3$ = 458,30 Ton
W mesin	= 100,00 Ton

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= W_{\text{pilecap}} + W_{\text{mesin}} \\
 &= 558,30 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup dihasilkan dari berat rotor yang bergerak membentuk gaya sentrifugal.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Rotor} &= 20 \text{ T (20\% W mesin)} \\
 Q_o &= m \times e \times \omega^2 \\
 \omega &= 2 \times \pi \times f \\
 &= 2 \times \pi \times (3000/60) \\
 &= 314,16 \text{ rad/s} \\
 e &= 0.002 \text{ inch} = 0.0000508 \text{ m} \\
 Q_o &= (20/9,81) \times 0,0000508 \times 314,16^2 \\
 &= 10,22 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5.3 Dimensi *Pilecap*

Dimensi *pilecap* yang digunakan sebesar 14 x 6,2 x 2,2 meter dengan bagian tertanam sedalam 2 meter.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas pondasi} &= 14 \text{ m} \times 6,2 \text{ m} \\
 &= 86,8 \text{ m}^2 \\
 r_o &= \sqrt{86,8/\pi} \\
 &= 5,26 \text{ m} \\
 \text{Gravitasi (g)} &= 9.81 \text{ m/dt}^2 \\
 m_{\text{pilecap}} &= W_{\text{pile cap}} / g \\
 &= 458,304 / 9,81 \\
 &= 46,72 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 m_{\text{mesin}} &= W_{\text{mesin}} / g \\
 &= 100 / 9,81 \\
 &= 10,19 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 m_{\text{total}} &= m_{\text{pilecap}} + m_{\text{mesin}} \\
 &= 56,91 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 \text{Rumus } M_{mo} \text{ Pilecap} &\text{ sesuai rumus 2.15} \\
 M_{mo} \text{ Pilecap} &= 1/12 \cdot m \cdot (p^2 + t^2) + mx^2 \\
 x &= \text{jarak titik pusat } \textit{pilecap} \text{ ke alas} = 1,1 \text{ m} \\
 &= 1/12 \cdot 46,72 (14^2 + 2,2^2) + 46,72 \cdot 1,1^2 \\
 &= 838,4 \text{ T m/dt}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{mo} \text{ Mesin} &= m_{mesin} \cdot x^2 \\
 x &= \text{jarak titik pusat mesin ke alas } 4.2 \text{ m} \\
 &= 10,19 \cdot 4.2^2 \\
 &= 179,8 \text{ T m/dt}^2 \\
 M_{mo} \text{ Total} &= M_{mo} \text{ Pilecap} + M_{mo} \text{ Mesin} \\
 &= 838,4 + 179,8 \\
 &= 1018,2 \text{ T m/dt}^2
 \end{aligned}$$

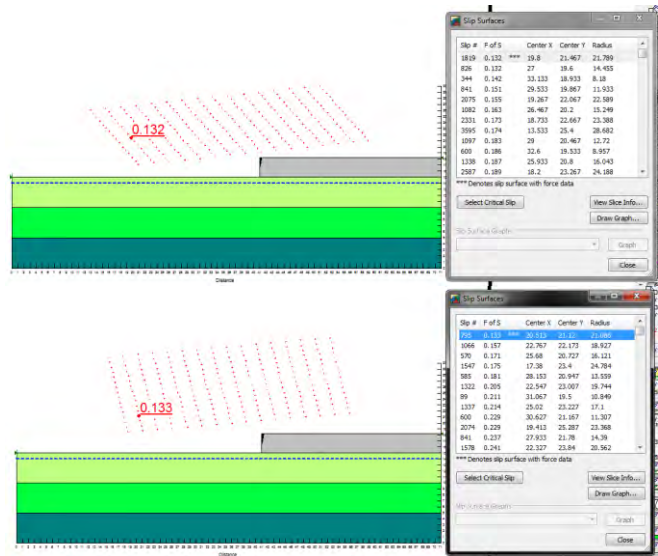
Letak titik berat mesin dari pondasi sesuai rumus 2.23

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{W_{pilecap} \cdot 0,5t + W_{mesin}(t+h \text{ pusat mesin})}{W_{total}} \\
 &= \frac{458,30 \cdot 0,5 \cdot 2,2 + 100(2,2+2)}{558,30} \\
 &= 1,66 \text{ m dari dasar pondasi} \\
 M_m &= M_{mo} \text{ total} - m_{total} \cdot L^2 \\
 &= 1018,2 - 56,91 \cdot 1,66^2 \\
 &= 862,32 \text{ T m/dt}^2
 \end{aligned}$$

5.4 Perencanaan *Vertical Wall* (Geotextile)

Perencanaan dinding tegak diperlukan selain untuk melaksanakan penimbunan secara menerus tanpa terjadi penundaan untuk peningkatan daya dukung tanah juga memberi perkuatan tepi timbunan agar tidak longsor. Pertama dicek dahulu menggunakan Geoslope apakah timbunan aman terhadap longsor ditunjukkan dengan nilai SF > 1. Jika kurang dari 1 maka diperlukan perkuatan berupa geotextile. Hasil analisis menunjukkan nilai SF sebesar 0,123 dan 0,130 sehingga perlu perencanaan geotextile perkuatan dinding tegak.

Stabilitas yang perlu di cek dari perkuatan ini adalah *internal stability*, *external stability* dan *overall stability* menggunakan geoslope.



Gambar 5.1 Analisis Geoslope SF < 1

Data tanah :

Lapisan 1

$$\gamma = 1,987 \text{ T/m}^3$$

$$\phi = 32,5^\circ$$

$$c = 0,6 \text{ T/m}^2$$

$$H = 3,1 \text{ m}$$

Data Geotextile :

Direncanakan geotextile type UW-250 (produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul, Indonesia)

$$T_{ult} = 5,2 \text{ T/m}$$

$$F_{sid} \text{ (FS untuk instalasi)} = 1,1$$

$$F_{scr} \text{ (FS untuk faktor rangkai)} = 2$$

$$F_{scd} \text{ (FS untuk faktor kimiawi)} = 1$$

$$F_{sbd} \text{ (FS untuk faktor biologi)} = 1$$

1. Perhitungan Tekanan Horizontal

Koefisien Tekanan Aktif

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \tan^2(45 - \phi/2) \\ &= \tan^2(45 - 32,5/2) \\ &= 0,30 \end{aligned}$$

$$z = 3,1 \text{ m}$$

Tegangan horizontal tanah di belakang dinding

$$\begin{aligned} \sigma_{hz} &= \gamma \cdot z \cdot K_a \\ &= 1,97 \cdot 3,1 \cdot 0,3 \\ &= 1,838 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan horizontal akibat beban merata

$$\begin{aligned} \sigma_{hq} &= q \cdot K_a \\ &= 1 \cdot 0,3 \\ &= 0,30 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan horizontal total

$$\begin{aligned} \sigma_h &= \sigma_{hz} + \sigma_{hq} \\ &= 1,838 + 0,3 \\ &= 2,139 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

2. Kuat Tarik Ijin

$$\begin{aligned} T_{\text{allow}} &= \frac{T}{F_{sid} \cdot F_{scr} \cdot F_{scd} \cdot F_{sbd}} \\ &= \frac{5,2}{1,1 \cdot 2,1 \cdot 1} = 2,364 \text{ T/m} \end{aligned}$$

3. Jarak Vertikal Pemasangan Geotextile (Sv)

$$\begin{aligned} S_v &= \frac{T}{\sigma_h \cdot F_S} \\ &= \frac{2,364}{2,139 \cdot 1,3} \\ &= 0,85 \text{ m} \\ &= 85 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Perhitungan Jarak Vertikal Pemasangan Geotextile

No	H (m)	γ T/m ³	Z (m)	ϕ °	Ka	σ_{hz} T/m ²	σ_{hq} T/m ²	σ_{htotal} T/m ²	Tall T/m	SF	Sv (m)	Sv Pakai (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (3)x(4)	(8)	(9) = (7)+(8)	(10)	(11)	(12) = (10)/(9)	
1	3,1 m	1,97	3,1 m	32,5	0,30	1,838	0,30	2,139	2,364	1,3	0,850	0,8
2	3,1 m	1,97	2,1	32,5	0,30	1,245	0,30	1,546	2,364	1,3	1,176	0,8
3	3,1 m	1,97	1,1	32,5	0,30	0,65	0,30	0,953	2,364	1,3	1,907	1,5

4. Panjang Geotextile Tertanam

Panjang Geotextile di belakang bidang longsor (Le)

$$\sigma_h = 2,139 \text{ T/m}^2$$

$$S_v = 0,8 \text{ m}$$

$$z = 3,1 \text{ m}$$

$$\delta = 95\% \cdot \Phi$$

$$= 30,875^\circ \quad \tan 30,875^\circ = 0,598$$

$$L_e = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot SF}{(c + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)}$$

$$= \frac{0,8 \cdot 2,139 \cdot 1,3}{0,6 + 1,97 \cdot 3,1 \cdot 0,598}$$

$$= 0,523 \text{ m}$$

Panjang Geotextile di depan bidang longsor (Lr)

$$L_r = (H - z) \tan (45 - \phi/2)$$

Tabel 5.2 Panjang Geotextile depan bidang longsor (Lr)

No	H (m)	γ T/m ³	Z (m)	ϕ °	c T/m ²	δ	σ_h	Sv pakai (m)	Lr (m)
0	3,1 m	1,606	2,8	0	0,6	0		0,8	0,50
1	3,1 m	1,97	3,1 m	32,5	0,6	30,88	2,139	0,8	0,50
2	3,1 m	1,97	2,1 m	32,5	0,6	30,88	1,546	0,8	0,50
3	3,1 m	1,97	1,1 m	32,5	0,6	30,88	0,953	1,5	0,94

Tabel 5.3 Panjang Geotextile Total

L _e	L _e min (m)	L _r (m)	L total (m)	L pakai (m)
0,50	1	0	1	3
0,50	1	0,301	1,30098	3
0,94	2	0,602	2,60197	3

Panjang Lipatan Geotextile(Lo)

$$\begin{aligned} Lo &= \frac{1}{2} \cdot Le \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3 = 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 5.4 Panjang Lipatan Geotextile (Lo)

No	H	Le	Lo pakai
0	3,1 m		
1	3,1 m	3	1,5
2	3,1 m	3	1,5
3	3,1 m	3	1,5

5. Cek Stabilitas

a. Cek Terhadap Guling

Gaya yang bekerja :

Gaya Vertikal

$$\begin{aligned} P1 &= q \cdot Ka \cdot H \\ &= 1 \cdot 0,31 \cdot 3,1 \\ &= 0,933 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H \cdot Ka \\ &= 0,5 \cdot 1,987 \cdot 3,1 \cdot 0,31 \\ &= 0,927 \text{ T} \end{aligned}$$

$$M_{dor} = P \cos \delta \cdot R$$

$$M1 = 0,800 \cdot 1,55 = 1,24 \text{ Tm}$$

$$M2 = 0,795 \cdot 1,033 = 0,82 \text{ Tm}$$

$$M_{dor} = 2,06 \text{ Tm}$$

$$\begin{aligned} M_{res} &= (\gamma \cdot H) \cdot B \cdot L \cdot 0,5L \\ &= 27,72 \end{aligned}$$

$$SF = \frac{M_{res}}{M_{dor}} = \frac{27,72}{2,06} = 13,45 > 3 \text{ OK}$$

b. Cek Terhadap Daya Dukung

$$M_{dor} = 2,06 \text{ Tm}$$

$$B = 1 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Tegangan Maksimum yang Terjadi

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W}$$

$$= \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot L^2}$$

$$= \frac{2,06}{0,167} = 12,37 \text{ T/m}^2$$

Daya Dukung Tanah Dasar

$$\phi = 0$$

$$N_c = 5,71$$

$$N_q = 1$$

$$N_\gamma = 0$$

$$\sigma_{tnh\text{dasar}} = c \cdot N_c + D \cdot \gamma \cdot N_q + \frac{1}{2} L \cdot \gamma_c$$

$$= 0,6 \cdot 5,71 + 0,1 \cdot 19,87 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 19,87$$

$$= 3,426 \text{ T/m}^2$$

$$SF = \frac{\sigma_{tnh\text{dasar}}}{\sigma_{\max}} = \frac{3,426}{10,12} = 0,34 < 1,3 \text{ Tdk OK}$$

Perpanjang L = 3 m

Tegangan Maksimum yang Terjadi

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W}$$

$$= \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot L^2}$$

$$= \frac{2,06}{1,5} = 1,37 \text{ T/m}^2$$

$$SF = \frac{\sigma_{tnh\text{dasar}}}{\sigma_{\max}} = \frac{3,426}{1,37} = 2,49 > 1,3 \text{ OK}$$

c. Cek Terhadap Geser

$$c \text{ tanah dsr} = 0,6 \text{ T/m}^2$$

$$P_1 = 0,933 \text{ T}$$

$$P_2 = 0,927 \text{ T}$$

$$\delta = 95\% \cdot \Phi$$

$$= 30,88^\circ$$

Gaya Penahan (P_r)

$$\sigma = P_1 \cdot \sin \delta + P_2 \sin \delta$$

$$= 0,933 \cdot \sin 30,88 + 0,927 \cdot \sin 30,88$$

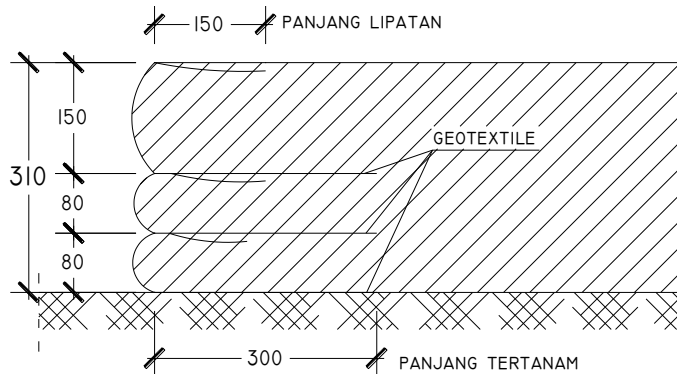
$$= 0,955 \text{ T}$$

$$\begin{aligned}
 P_r &= (c + \sigma \cdot \tan \delta) L \cdot B \\
 &= \left(0 + \frac{0,955}{1 \times 3} \cdot \tan 30,88\right) 3 \times 1 \\
 &= 2,37 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Gaya Pendorong (P_d)

$$\begin{aligned}
 P_d &= P_a \cos \delta \\
 &= 0,933 \cdot \cos 30,88 + 0,927 \cdot \cos 30,88 \\
 &= 1,596
 \end{aligned}$$

$$\text{SF} = \frac{P_r}{P_d} = \frac{2,378}{1,596} = 1,51 > 1,5 \text{ OK}$$



Gambar 5.2 Penampang Geotextile Dinding Tegak

5.5 Analisis Statis Pondasi Dangkal

Dasar perencanaan pondasi dangkal menggunakan metode Terzaghi. Bentuk pondasi yang digunakan adalah persegi panjang dengan ukuran 14 m x 6,2 m x 2,2 m.

Pondasi dangkal dibangun diatas tanah timbunan yang pemampatannya sudah selesai dan mencapai H_{final} 2 m.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= 558,30 \text{ Ton} \\
 q &= 558,30 / (14 \times 6,2) \\
 &= 6,43 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_s &= 1,98 \text{ T/m}^3 \\
 \gamma_w &= 1,00 \text{ T/m}^3 \\
 q &= D_f \times \gamma_s \\
 &= 2 \times 1,98 \\
 &= 3,96 \text{ T/m}^2 \\
 \phi &= 30^\circ \\
 C_u &= 0,128 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Cu baru)} \\
 &= 1,28 \text{ T/m}^2 \\
 SF &= 3 \\
 N_c &= 37,2 \quad N_q = 22,2 \quad N_\gamma = 19,7 \\
 Z_w &= 2,7 \text{ m (dibawah permukaan tanah)} \\
 B_f &= 6,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

sehingga perhitungan q_{ult} sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{ult} &= 1,3.C.N_c + D_f.\gamma_s.N_q + 0,4.B.N_\gamma \\
 &= 1,3.1,28.37,2 + 3,96.22,2 + 0,4.6,2.19,7 \\
 &= 61,9 + 87,91 + 48,86 = 198,672 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{ijin} &= Q_{ult} / SF \\
 &= 198,672 / 3 \\
 &= 66,224 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{ijin} \text{ beban statis} &= q_{ijin} \cdot 50\% \\
 &= 66,224 \text{ T/m}^2 \cdot 50\% \\
 &= 33,112 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

$$q = 6,43 \text{ T/m}^2$$

$q < q_{ijin}$ beban statis sehingga tanah dasar aman terhadap beban pondasi.

5.6 Analisis Dinamis Pondasi Dangkal

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai G} &= 9269,4 \text{ T/m}^2 \\
 B &= 6,2 \text{ m} \\
 L &= 14 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$v = 0,4$$

5.6.1 Analisis Vertikal

$$r_o = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}} = \sqrt{\frac{6,2.14}{\pi}} = 5,2564 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\eta_z &= 1 + 0,6 (1-v) \frac{h}{r_o} \\ &= 1 + 0,6 (1-0,4) \frac{2}{5,2564} \\ &= 1,137\end{aligned}$$

β_z = dari gambar 2.4 untuk nilai $L/B = 14/6,2 = 2,26$
maka $\beta_z = 2,3$

Konstanta pegas sesuai tabel 2.2:

$$\begin{aligned}k_z &= \frac{4.G.r_o}{1-v} \cdot \eta_z \\ &= \frac{4.9269,4.5,2564}{1-0,4} \cdot 1,137 = 369314,84 \text{ T/m}\end{aligned}$$

Faktor penanaman sesuai tabel 2.7:

$$\begin{aligned}\alpha_z &= \frac{1 + 1,9(1-v)(h/r_o)}{\sqrt{\eta_z}} \\ &= \frac{1 + 1,9(1-0,4)(\frac{2}{5,2564})}{\sqrt{1,137}} = 1,345\end{aligned}$$

Rasio massa getaran sesuai tabel 2.5:

$$\begin{aligned}B_z &= \frac{(1-v)}{4} \cdot \frac{W}{\gamma r_o^3} \\ &= \frac{(1-0,4)}{4} \cdot \frac{558,30}{1,606 \cdot 5,2564^3} \\ &= 0,3591\end{aligned}$$

Damping ratio sesuai tabel 2.5 :

$$\begin{aligned}D_z &= \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z \\ &= \frac{0,425}{\sqrt{0,3591}} 1,345 = 0,9537\end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned} f_n &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{369314,8398}{56,91}} = 12,82 \text{ cps} \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned} f_{\text{res}} &= f_n \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot D^2} \\ &= 12,82 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot 0,9537} \\ &= \text{khayal} \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$

Resonansi (r) rumus :

$$\begin{aligned} r &= \frac{f_{\text{mesin}}}{f_n} \\ &= \frac{50}{12,82} = 3,9 > 1,2 \text{ OK!} \end{aligned}$$

Transmisibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned} \text{Tr} &= \frac{\sqrt{1 + 2Dr^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1 + 2 \times 0,9537 \times 3,9^2}}{\sqrt{(1 - 3,9^2)^2 + (2 \times 0,9537 \times 3,9)^2}} \\ &= 0,4680 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (Ft)

$$\begin{aligned} F_t &= \text{Tr} \times Q_o \\ &= 0,4680 \times 10,22 \text{ Ton} \\ &= 4,78 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Magnification (M) rumus 2.9 :

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2Dr)^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(1-3,9^2)^2 + (2 \times 0,9537 \times 3,9)^2}}$$

$$= 0,062$$

Amplitudo (A) rumus 2.8 :

$$A = M \frac{Q_o}{k}$$

$$= 0,062 \times \frac{10,22}{369314,84} \times 100 / 2,54$$

$$= 6,80E-05 \text{ inch}$$

5.6.2 Analisis Horizontal

$$r_o = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}} = \sqrt{\frac{6,2.14}{\pi}} = 5,2564 \text{ m}$$

$$\eta_x = 1 + 0,55 (2 - \nu) \frac{h}{r_o}$$

$$= 1 + 0,55 (2 - 0,4) \frac{2}{5,2564}$$

$$= 1,335$$

β_x = dari gambar 2.4 untuk nilai $L/B = 14/6,2 = 2,26$
maka $\beta_z = 1,0$

Konstanta pegas sesuai tabel 2.2 :

$$k_x = \frac{32.(1-\nu)G.r_o}{7-8\nu} \cdot \eta_x$$

$$= \frac{32.(1-0,4).9269,4.5,2564}{7-8.0,4} \cdot 1,335$$

$$= 328610,01 \text{ T/m}$$

Faktor penanaman sesuai tabel 2.7 :

$$\alpha_x = \frac{1 + 1,9(2-\nu)(h/r_o)}{\sqrt{\eta_x}}$$

$$= \frac{1 + 1,9(2-0,4)(\frac{2}{5,2564})}{\sqrt{1,335}}$$

$$= 1,867$$

Rasio massa getaran sesuai tabel 2.5:

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{(7-8v)}{32(1-v)} \cdot \frac{W}{\gamma r_o^3} \\ &= \frac{(7-8.4)}{32(1-0.4)} \cdot \frac{558,30}{1,606 \cdot 5,2564^3} \\ &= 0,474 \end{aligned}$$

Damping ratio sesuai tabel 2.5 :

$$\begin{aligned} D_x &= \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x \\ &= \frac{0,288}{\sqrt{0,474}} 1,867 \\ &= 0,5424 \end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned} f_n &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{328610,01}{56,91}} \\ &= 12,09 \text{ cps} \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned} f_{\text{res}} &= f_n \cdot \sqrt{1-2.D^2} \\ &= 12,09 \cdot \sqrt{1-2.0,5424^2} \\ &= 3,411 \text{ cps} \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$

Resonansi (r) rumus :

$$\begin{aligned} r &= \frac{f_{\text{mesin}}}{f_n} \\ &= \frac{50}{10,516} \\ &= 4,7548 > 1,2 \text{ OK!} \end{aligned}$$

Transmisibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned} \text{Tr} &= \frac{\sqrt{1+2Dr^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1+2 \times 0,5424 \times 4,7548^2}}{\sqrt{(1-4,7548^2)^2+(2 \times 0,5424 \times 4,7548)^2}} \\ &= 0,2365 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (Ft)

$$\begin{aligned} \text{Ft} &= \text{Tr} \times \text{Qo} \\ &= 0,2365 \times 10,22 \text{ Ton} \\ &= 2,42 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Magnification (M) rumus 2.9 :

$$\begin{aligned} \text{M} &= \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1-4,7548^2)^2+(2 \times 0,5424 \times 4,7548)^2}} \\ &= 0,045 \end{aligned}$$

Amplitudo (A) rumus 2.8 :

$$\begin{aligned} \text{A} &= \text{M} \frac{\text{Qo}}{k} \\ &= 0,045 \times \frac{10,22}{248443,76} \\ &= 1,852\text{E-}06 \\ &= 7,29\text{E-}05\text{inch} \end{aligned}$$

5.6.3 Analisis Rocking

$$r_o = \sqrt[4]{\frac{B.L^3}{3\pi}} = \sqrt[4]{\frac{6,2.14^3}{3\pi}} = 4,3380 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \eta_\phi &= 1+1,2 (1-v) \frac{h}{r_o} + 0,2 (2-v) \left(\frac{h}{r_o}\right)^3 \\ &= 1+1,2 (1-0,4) \frac{2}{4,3380} + 0,2 (2-0,3) \left(\frac{2}{4,3380}\right)^3 \\ &= 1,363 \end{aligned}$$

β_ϕ = dari gambar 2.4 untuk nilai $L/B = 14/6,2 = 2,26$
maka $\beta_z = 0,62$

Konstanta pegas sesuai tabel 2.2 :

$$\begin{aligned} k_{\phi} &= \frac{8 \cdot G \cdot r_o^3}{3(1-\nu)} \cdot \eta_{\phi} \\ &= \frac{8.9269,45,2564^3}{3(1-0,4)} \cdot 1,363 \\ &= 4584923,823 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Faktor penanaman sesuai tabel 2.7 :

$$\begin{aligned} \alpha_{\phi} &= \frac{1+0,7(1-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)+0,6(2-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_{\phi}}} \\ &= \frac{1+0,7(1-0,4)\left(\frac{2}{4,3380}\right)+0,6(2-0,4)\left(\frac{2}{4,3380}\right)^3}{\sqrt{1,363}} \\ &= 1,103 \end{aligned}$$

Rasio massa getaran sesuai tabel 2.5 :

$$\begin{aligned} B_{\phi} &= \frac{3(1-\nu)}{8} \cdot \frac{M_{mo}}{\rho r_o^3} \\ &= \frac{3(1-0,4)}{8} \cdot \frac{1018,2}{\frac{1,606}{9,81} \cdot 5,2564^3} \\ &= 0,911 \end{aligned}$$

Damping ratio sesuai tabel 2.5 :

$$\begin{aligned} D_{\phi} &= \frac{0,15}{(1+n_{\phi}B_{\phi})\sqrt{n_{\phi}B_{\phi}}} \alpha_{\phi} \\ n_{\phi} &= \text{didapatkan dari tabel korelasi dengan nilai } B_{\phi} \\ &\quad \text{sebesar 1,233} \\ D_{\phi} &= \frac{0,15}{(1+1,203 \cdot 0,911)\sqrt{1,203 \cdot 0,911}} 1,103 \\ &= 0,0666 \end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned} f_{n\phi} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M_{mo}}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4584923,823}{1018,2}} \end{aligned}$$

$$= 10,68 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned} f_{\text{res}} &= f_n \cdot \sqrt{1 - 2D^2} \\ &= 10,68 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0666} \\ &= 10,63 \text{ cps} \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$

Resonansi (r) rumus :

$$\begin{aligned} r &= \frac{f_{\text{mesin}}}{f_n} \\ &= \frac{50}{10,68} \\ &= 4,68 > 1,2 \text{ OK!} \end{aligned}$$

Transmissibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned} \text{Tr} &= \frac{\sqrt{1 + 2Dr^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1 + 2 \times 0,0666 \times 4,68^2}}{\sqrt{(1 - 4,68^2)^2 + (2 \times 0,0666 \times 4,68)^2}} \\ &= 0,056 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (Ft)

$$\begin{aligned} F_t &= \text{Tr} \times Q_o \\ &= 0,056 \times 10,22 \text{ Ton} \\ &= 0,57 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Magnification (M) rumus 2.9 :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1 - 4,68^2)^2 + (2 \times 0,0666 \times 4,68)^2}} \\ &= 0,0478 \end{aligned}$$

Amplitudo (A) rumus 2.8 :

$$\begin{aligned}
 A &= M \frac{Q_o}{k} \\
 &= 0,0478 \times \frac{10,22 \times 4,2}{3466406,005} \\
 &= 4,47\text{E-}07 \text{ rad} \\
 &= 4,47\text{E-}07 \text{ rad} \times (\text{Lebar Pondasi} / 2 \times 100 / 2,54) \\
 &= 4,47\text{E-}07 \text{ rad} \times (6,2/2 \times 100/2,54) \\
 &= 5,46\text{E-}05 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

5.7 Analisis Kopel Pondasi Dangkal

Pengaruh kopel harus dihitung sebagai pertambahan nilai amplitudo, dengan menggunakan rumus 2.16 hingga 2.24 maka nilai kopel dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \omega &= 2.\pi.f_{\text{mesin}} = 2.\pi.\frac{3000}{60} = 314,16 \text{ rad/s} \\
 \omega_{nx} &= 2.\pi.f_{nx} = 2.\pi.12,09 = 75,99 \text{ rad/dt} \\
 \omega_{n\phi} &= 2.\pi.f_{n\phi} = 2.\pi.10,68 = 67,10 \text{ rad/dt} \\
 \xi_x^g &= 0,542 \\
 \xi_\phi^g &= 0,0666 \\
 m_{total} &= 56,91 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 M_m &= 862,32 \text{ T m/dt}^2 \\
 M_{mo} &= 1018,2 \text{ T m/dt}^2 \\
 \gamma &= \frac{M_m}{M_{mo}} = \frac{862,32}{1018,2} = 0,847 \\
 M_x &= Q_o \times \text{jarak pusat rotor ke pusat pilecap} \\
 &\quad \text{dan mesin} \\
 &= 10,22 \text{ Ton} \times (2+2,2-1,66) \text{ meter} \\
 &= 26,01 \text{ Tm} \\
 L &= 1,66 \text{ m} \\
 P_x &= 2,42 \text{ Ton} \\
 k_x &= 248443,76 \text{ T/m} \\
 k_\phi &= 3466406,005 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

$$A_x = A_{x1} + A_{x2}$$

$$A_{\phi} = A_{\phi 1} + A_{\phi 2}$$

$$\begin{aligned} \Delta(\omega)^2 &= \left[\left(\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2}{\gamma} - \frac{4\xi_x \xi_{\phi} \omega_{nx} \omega_{n\phi}}{\gamma} \right\} + \frac{\omega_{nx}^2 \omega_{n\phi}^2}{\gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \right. \\ &\quad \left. + 4 \left\{ \xi_x \frac{\omega_{nx} \omega}{\gamma} (\omega_{n\phi}^2 - \omega^2) + \frac{\xi_{\phi} \omega_{n\phi} \omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[\left(314,16^4 - 314,16^2 \left\{ \frac{75,99^2 + 67,10^2}{0,847} - \frac{4 \cdot 0,5424 \cdot 0,0666 \cdot 75,99 \cdot 67,10}{0,847} \right\} + \frac{75,99 \cdot 67,10}{0,847} \right)^{\frac{1}{2}} \right. \\ &\quad \left. + 4 \left\{ 0,5424 \frac{75,99 \cdot 314,16}{0,847} (58,35^2 - 314,16^2) + \frac{0,0666 \cdot 67,10 \cdot 314,16}{0,847} (66,07^2 - 314,16^2) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \Delta(\omega)^2 &= 3,02E+12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{x1} &= \frac{M_x L \left[(\omega_{nx}^2)^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega)^2} \\ A_{x1} &= \frac{26,01 \cdot 1,66 \left[(75,99^2)^2 + (2 \cdot 0,5424 \cdot 75,99 \cdot 314,16)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{1018,2 \cdot 3,02E+12} \\ A_{x1} &= 1,26574E-10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{x2} &= \frac{P_x}{m M_m} \frac{4\omega \left(\xi_{\phi} \sqrt{K_{\phi} M_m} + L^2 \xi_x \sqrt{K_x m} \right)^2}{\Delta(\omega)^2} \end{aligned}$$

$$A_{x2} = \frac{2,42}{56,91 \times 1018,2} x$$

$$\frac{[(-1018,2 \cdot 314,16^2 + 3466406,005 + 248443,76 \cdot 1,66^2)^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 314,16 \left(\frac{0,0666 \sqrt{248443,76 \cdot 1018,2} + 1,66^2}{0,5424 \sqrt{248443,76 \cdot 56,91}} \right)^2]^{\frac{1}{2}}}{3,02E + 12}$$

$$A_{x2} = 2,16625E-09 \text{ m}$$

$$A_{x1} + A_{x2} = 1,26574E-10 + 2,16625E-09$$

$$= 2,29282E-09 \text{ m}$$

$$= 9,027E-08 \text{ inch}$$

$$A_{\phi1} = \frac{M_y}{M_m} \frac{[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2]^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2}$$

$$A_{\phi1} = \frac{26,01}{862,32} \frac{[(75,99^2 - 314,16^2)^2 + (2 \cdot 0,5424 \cdot 75,99 \cdot 314,16)^2]^{\frac{1}{2}}}{3,02E + 12}$$

$$A_{\phi1} = 1,75199E-09 \text{ rad}$$

$$A_{\phi2} = \frac{P_x L}{M_m} \frac{\omega_{nx}(\omega_{nx}^2 + 4\xi_x \omega^2)^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2}$$

$$A_{\phi2} = \frac{2,42 \cdot 1,66}{862,32} \frac{44,29(66,07^2 + 4 \cdot 0,5424 \cdot 314,16^2)^{\frac{1}{2}}}{3,02E + 12}$$

$$A_{\phi2} = 1,446E-08 \text{ rad}$$

$$A_{\phi1} + A_{\phi2} = 1,75199E-09 + 1,446E-08$$

$$= 1,6212E-08 \text{ rad}$$

Nilai amplitudo horizontal akibat pengaruh kopel adalah :

$$A_x = 7,29E-05 \text{ inch}$$

$$A_{x1} + A_{x2} = 9,027\text{E-}08 \text{ inch}$$

$$A_{\phi1} + A_{\phi2} = 1,6212\text{E-}08 \text{ rad}$$

Total Nilai Amplitudo Horizontal

$$= A_x + A_{x1} + A_{x2} + (A_{\phi1} + A_{\phi2}) \times$$

(jarak pusat rotor ke pusat pilecap dan mesin)

$$= 7,29\text{E-}05 \text{ inch} + 9,13\text{E-}08 \text{ inch} + 1,6212\text{E-}08$$

$$\text{rad} \times ((2+2,2-1,66)$$

$$= 7,32\text{E-}05 \text{ inch}$$

Nilai amplitudo vertikal akibat pengaruh kopel adalah :

$$A_z = 7,29\text{E-}05 \text{ inch}$$

$$A_{\phi1} + A_{\phi2} = 1,6212\text{E-}08 \text{ rad}$$

$$= 1,6212\text{E-}08 \text{ rad} \times \frac{B}{2} \times \frac{100}{2,54}$$

$$= 1,98\text{E-}06 \text{ inch}$$

$$\text{Total Nilai} = A_x + A_{\phi1} + A_{\phi2}$$

$$= 7,29\text{E-}05 \text{ inch} + 1,98\text{E-}06 \text{ inch}$$

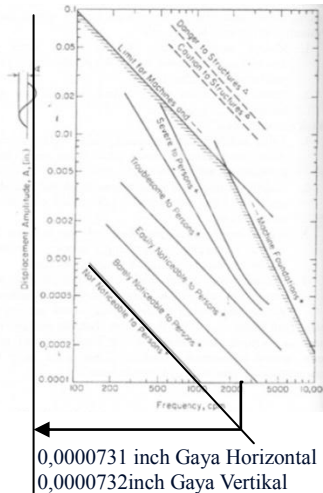
$$= 7,31\text{E-}05 \text{ inch}$$

Sesuai tabel 2.5 masuk ke area “*Not Noticeable to Persons*”

Tabel 5.5 Rekapitulasi Desain Pondasi Dangkal

No	Parameter	Vertikal	Horizontal	Rocking
1	Radius Ekuivalen (ro)	5,2564	5,2564 m	4,3380 m
	Koefisien Penanaman	1,137	1,335	1,363
	Koefisien Pegas (β)	2,3	1	0,62
	Konstanta Pegas (k)	369314,84 T/m	328610,01 T/m	4584923,823 Tm
	Faktor Penanaman (α)	1,345	1,867	1,103
2	Rasio Massa (B)	0,3591	0,474	0,911
	Damping (D)	0,9537	0,5424	0,0666
	Natural Frekuensi	12,82 cps	12,09 cps	10,68 cps
3	Gaya Pegas (Qo)	10,22 Ton	10,22 Ton	10,22 Ton
	Transmissibility (Tr)	0,468	0,2365	0,056
	Transmitted Force (Ft)	4,78 Ton	2,42 Ton	0,57 Ton
	Magnification	0,062	0,045	0,0478
	Amplitudo (A)	6,80E-05	7,29E-05	5,46E-05 inch
4	Amplitudo + Kopel (inch)	7,32E-05	7,31E-05	-
	Velocity	2,30E-02	2,30E-02	

Velocity sesuai Gambar 2.6 masuk area B sehingga memenuhi syarat.

**Gambar 5.3** Plotting Analisis Pondasi Dangkal ke Grafik

$$W_{total} = 558,30 \text{ Ton} + 10,22 \text{ Ton}$$

$$q = 568,52 / (14 \times 6,2) = 6,55 \text{ T/m}^2$$

q_{ijin} beban dinamis

$$= q_{ijin} \cdot 75\%$$

$$= 90,26 \text{ T/m}^2 \cdot 75\%$$

$$= 67,69 \text{ T/m}^2 \quad q > q_{ijin} \text{ statis}$$

5.8 Analisis Statis Pondasi Dalam

Tiang dipancang hingga kedalaman 26 m karena berdasarkan nilai SPT, tanah padat ($NSPT > 10$) ditemukan pada lapisan kedalaman tersebut. Tiang pancang yang digunakan produksi dari PT. WIKA

$$\begin{aligned}\text{Panjang Tiang Tertanam (L)} &= 26,0 \text{ m} \\ \text{Diameter Luar Tiang (d)} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Ketebalan Tiang} &= 0,09 \text{ m} \\ \text{Keliling Tiang (k)} &= \pi \cdot d \\ &= \pi \cdot 0,5 \\ &= 1,57 \text{ m}\end{aligned}$$

Menghitung luas selimut tiang berdasarkan rumus ()

$$\begin{aligned}\text{As (Luas selimut tiang)} &= k \cdot L \\ &= 1,57 \cdot 26 \\ &= 40,8 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ap (Luas penampang ujung tiang)} &= 0,25 \cdot \pi \cdot 0,5 \\ &= 0,196\end{aligned}$$

Menurut Bromham, S.B. dan Styles, J.R., nilai K untuk lempung padat sebesar $40,0 \text{ T/m}^2$

$$K (\text{Koefisien karakteristik tanah}) = 40,0 \text{ T/m}^2$$

Nilai SPT terdiri dari N_p dan N_s . N_p adalah nilai rata – rata SPT sepanjang $4D = 4 \times 0,5 = 2 \text{ m}$ keatas dan dibawah ujung tiang sedangkan N_s adalah nilai rata rata SPT sepanjang tiang.

Tabel 5.6 Nilai SPT

Z (m)	N_p	Z (m)	N_s
24	7	3	3
25	13	9	8
26	19	12	8
27	25	18	3
28	23	21	4
Rata - Rata	17,40	24	7
		26	19
		Rata - Rata	7,43

Menghitung qult berdasarkan rumus 2.29

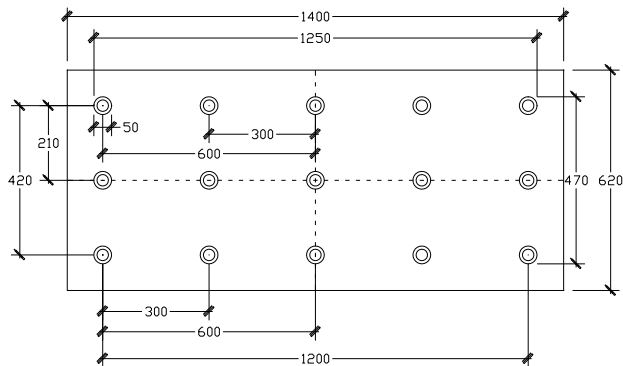
$$\begin{aligned}
 q_{ult} \text{ tiang tunggal} &= K N_p A_p + (N_s/3 + 1) A_s \\
 &= 40 \cdot 17,40 \cdot 0,196 + (7,43/3 + 1) \cdot 20,4 \\
 &= 278,63 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{ijin} \text{ tiang tunggal} &= Q_{ult} / SF \\
 SF &= 3 \\
 &= 278,63 / 3 \\
 &= 92,88 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

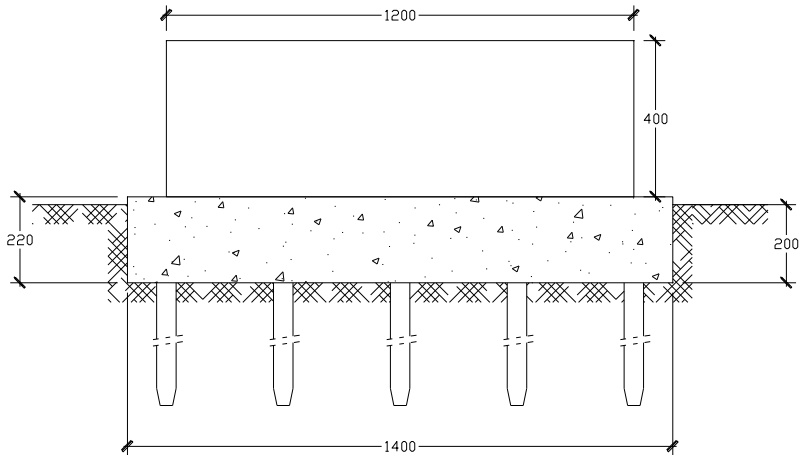
$$\begin{aligned}
 q_{ijin} \text{ statis} &= 50\% \\
 &= 92,88 \cdot 50\% \\
 &= 46,44 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah min. tiang} &= W_{\text{Total}} / q_{ijin} \\
 &= (558,30 + 10,22) / 46,44 \\
 &= 12 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

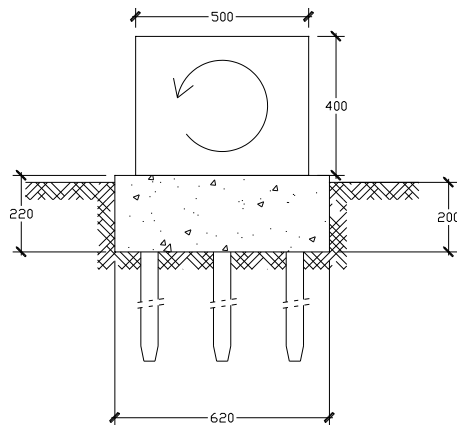
Jumlah tiang yang digunakan sebanyak 15 tiang.



Gambar 5.4 Pilecap



Gambar 5.5 Potongan memanjang pilecap



Gambar 5.6 Letak gaya arah melintang

Jarak antar tiang = 2,1 meter
 Jarak Maksimal = $8D$
 = 8,0,5 meter = 4 meter

$2,1 < 4$ sehingga memperhitungkan efisiensi tiang tunggal terhadap kelompok tiang. Q_{ijin} tiang pancang harus dikalikan dengan nilai efisiensi untuk mengetahui kekuatan satu tiang pancang dalam sebuah kelompok tiang pancang sesuai dengan rumus 2.30 berikut ini:

$$\text{Efisiensi} = \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + nP_{ut}^2}}$$

Keterangan :

P_{ub} = Kekuatan kelompok tiang = $K N_p A_p + (N_s/3 + 1) A_s$

P_{ut} = Kekuatan satu tiang

n = Jumlah tiang

Panjang Tiang Tertanam (L) = 26,0 m

Area tiang kelompo k = $p = 12,5$ m

= $l = 4,7$ m

A_s (Luas selimut tiang) = $(2x(p+l)) \times L$

= $(2x(12,5+4,7)) \times 26$

= 894,4 m²

A_p (Luas daerah pancang) = $p \times l$

= $12,5 \times 4,7$

= 58,750 m²

K (Koefisien karakteristik tanah) = 40,0 T/m²

Menurut Bromham, S.B. dan Styles, J.R., nilai K untuk lempung padat sebesar 40,0 T/m²

K (Koefisien karakteristik tanah) = 40,0 T/m²

Nilai SPT terdiri dari N_p dan N_s . N_p adalah nilai rata – rata SPT sepanjang $4D = 4 \times 4,7 = 18,8$ m keatas dan kebawah ujung tiang sedangkan N_s adalah nilai rata rata SPT sepanjang tiang.

Tabel 5.7 Nilai SPT Sepanjang Tiang

Z (m)	N_p	Z (m)	N_s
7,2	3	3	3
9	8	9	8
12	8	12	8

18	3	18	3
21	4	21	4
24	7	24	7
25	13	25	13
26	19	26	19
27	25	Rata – Rata	8,13
30	19		
33	19		
36	14		
40	14		
44	14		
44,8	14		
Rata – Rata	12,27		

$$\begin{aligned} \text{Qult kelompok} &= K N_p A_p + (N_s/3 + 1) A_s \\ &= 40.12,27. 58,750 + (8,13/3 + 1).894,4 \end{aligned}$$

$$= 32143,40 \text{ Ton}$$

$$P_{ub} = 32143,40 \text{ Ton}$$

$$P_{ut} = 46,44 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + nP_{ut}^2}} \\ &= \sqrt{\frac{32143,40^2}{32143,40^2 + 36.278,63^2}} \\ &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ijin} \text{ tiang tunggal} &= E_f \times Q_{ijin} \\ &= 0,99 \times 46,44 \\ &= 46,44 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Beban statis yang diterima 1 tiang dalam kelompok

$$V = \text{Berat total} = 558,30 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya sentrifugal} = 10,22 \text{ Ton}$$

$$\text{Jarak rotor ke alas pondasi} = 4,20 \text{ m}$$

$$M_y = 10,22 \times 4,2$$

$$= 42,93 \text{ Tm}$$

$$P_{\text{statis}} = \frac{V}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2}$$

$$= \frac{558,30}{15} + \frac{42,93 \times 2,1}{(10 \times 2,1^2)}$$

$$= 37,22 \text{ Ton} + 0,204 \text{ Ton}$$

$$= 37,425 \text{ Ton} < q \text{ ijin} = 46,44 \text{ Ton}$$

5.9 Modulus Geser

Jenis tanah pada lahan pembangunan *Gas Turbine* ini adalah lempung. Sesuai rumus 2.10 untuk perhitungan modulus geser pada tanah lempung adalah:

$$G_{\text{max}} = 1230 \frac{(2,973 - e)^2}{1 + e} (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o})$$

Keterangan :

e = angka pori

k = nilai interpolasi pada tabel 2.3

σ_o = nilai tegangan minimum

Tegangan minimum didapatkan dari hasil penjumlahan tegangan efektif dan *Boussinesq Chart*.

Tabel 5.8 Tabel Tegangan Efektif

TEGANGAN EFEKTIF (T/m ²)				IP = 39,1	OCR = 2,320	ko = 0,4		
Kedalaman n	γ sat	γ air	γ tanah	σ_v (efektif)		$\sigma_c = \sigma_{ef} + \sigma_{fluk}$	OCR	
m	T/m ³	T/m ³	T/m ³	T/m ²		T/m ²	(6/5)	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]		[6]	[7]	
0	0	0	1,606	$0 \times 1,012$	= 0,0000	1,6000	0	
0,1	0	0	0,606	$((0,1 - 0) \times 0,606) + 0$	= 0,0606	1,6606	27,403	
0,4	0	0	0,606	$((0,4 - 0,1) \times 0,606) + 0,0606$	= 0,2424	1,8424	7,601	
0,6	0	0	0,606	$((0,6 - 0,4) \times 0,606) + 0,2424$	= 0,3636	1,9636	5,400	
0,8	0	0	0,606	$((0,8 - 0,6) \times 0,606) + 0,3636$	= 0,4848	2,0848	4,300	
1	0	0	0,606	$((1 - 0,8) \times 0,606) + 0,4848$	= 0,6060	2,2060	3,640	
2	0	0	0,606	$((2 - 1) \times 0,606) + 0,606$	= 1,2120	2,8120	2,320	
2,7	1,606	1	0,606	$((2,7 - 2) \times 0,606) + 1,212$	= 1,6362	3,2362	1,978	
3	1,606	1	0,606	$((3 - 2,7) \times 0,606) + 1,6362$	= 1,8180	3,4180	1,880	
4	1,606	1	0,606	$((4 - 3) \times 0,606) + 1,818$	= 2,4240	4,0240	1,660	
5	1,606	1	0,606	$((5 - 4) \times 0,606) + 2,424$	= 3,0300	4,6300	1,528	
10	1,852	1	0,852	$((10 - 5) \times 0,852) + 3,03$	= 7,2900	8,8900	1,219	
15	1,692	1	0,692	$((15 - 10) \times 0,692) + 7,29$	= 10,7500	12,3500	1,149	
20	1,698	1	0,698	$((20 - 15) \times 0,698) + 10,75$	= 14,2400	15,8400	1,112	
26	1,74	1	0,74	$((26 - 20) \times 0,74) + 14,24$	= 18,6800	20,2800	1,086	

Tabel 5.9 Tabel Boussinesq

Kedalaman	ro	z/ro	$\Delta\sigma/q_0$	$\Delta\sigma$	teg efektif $\Delta\sigma$	$\sigma_h = (k_0 \times \sigma_v)$	$\sigma_o = 0.333 (\sigma_v + 2\sigma_h)$
m	m			T/m ²	T/m ²	T/m ²	T/m ²
0	5,26	0,00	0,5000	0,000	0,0000	0,0000	0,000
0,1	5,26	0,02	0,4900	0,000	0,0606	0,0242	0,036
0,4	5,26	0,08	0,4860	0,000	0,2424	0,0970	0,145
0,6	5,26	0,11	0,4840	0,000	0,3636	0,1454	0,218
0,8	5,26	0,15	0,4820	0,000	0,4848	0,1939	0,291
1	5,26	0,19	0,4800	0,000	0,6060	0,2424	0,363
2	5,26	0,38	0,4725	0,000	1,2120	0,4848	0,726
2,7	5,26	0,51	0,4650	2,991	4,6271	1,8508	1,778
3	5,26	0,57	0,4575	2,943	4,7607	1,9043	1,874
4	5,26	0,76	0,4550	2,927	5,3506	2,1402	2,233
5	5,26	0,95	0,4500	2,894	5,9244	2,3698	2,587
10	5,26	1,90	0,3400	2,187	9,4769	3,7908	4,952
13,5	5,26	2,57	0,2000	1,286	10,9984	4,3994	6,164
19,5	5,26	3,71	0,1200	0,772	14,6718	5,8687	7,143
26	5,26	4,95	0,1200	0,772	19,4818	7,7927	9,819

Nilai tegangan minimum pada kedalaman pilecap 2 m sebesar
 $0,726 \text{ T/m}^2 = 0.0726 \text{ kg/cm}^2 = 10326,15 \text{ lb/inch}^2$

$$\begin{aligned}
 G_{\max} &= 1230 \frac{(2,973-e)^2}{1+e} (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o}) \\
 &= 1230 \frac{(2,973-1,465)^2}{1+1,465} (2,32)^{0,29} (\sqrt{10326,15}) \\
 &= 19029,69 \text{ lb/inch}^2 \\
 &= 926,94 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 9269,4 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

5.10 Analisis Dinamis Pondasi Dalam

Penggunaan tiang merubah nilai konstanta pegas dan redaman sesuai rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 V_p &= \sqrt{\frac{Epxg}{\gamma_{tiang}}} \\
 &= \sqrt{\frac{2872388,38 \times 9,81}{2,4}} \\
 &= 3426,50 \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \sqrt{\frac{Gs_xg}{\gamma_{tanah}}} \\
 &= \sqrt{\frac{9269,4 \times 9,81}{1,698}} \\
 &= 231,41 \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

$$V_s/V_c = 231,41 / 3426,498$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,068 \\
 \text{Mutu tiang} &= K450 = 37,35 \text{ MPa} \\
 E \text{ Tiang } (E_p) &= 4700 \sqrt{f_c} \\
 &= 28723,88 \text{ MPa} = 2872388,38 \text{ T/m}^2 \\
 G \text{ tanah } (G_s) &= 9269,4 \text{ T/m}^2 \\
 \gamma_{\text{tiang}} &= 2,4 \text{ T/m}^3 \\
 \gamma_{\text{tanah}} &= 1,698 \text{ T/m}^3 \\
 m_{\text{total}} &= 56,91 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 r_o \text{ tiang} &= 0,25 \text{ m} \\
 A \text{ tiang} &= \pi r_o^2 \\
 &= 3,14 \times 0,25^2 = 0,196 \text{ m}^2 \\
 l/r_o \text{ tiang} &= 26 / 0,25 \\
 &= 104 \\
 E_p/G_s &= 2872388,38 / 9269,4 \\
 &= 309,88
 \end{aligned}$$

5.10.1 Analisis Vertikal

Plot nilai E_p/G_s dan l/r_o ke gambar 2.12 untuk mencari nilai kekakuan f_{w_1} dan redaman f_{w_2}

$$f_{w_1} = 0,049 \text{ (faktor kekakuan)}$$

$$f_{w_2} = 0,086 \text{ (faktor redaman)}$$

Menghitung k_w^1 sesuai dengan rumus 2.31

$$\begin{aligned}
 k_w^1 &= \frac{E_p A}{r_o} f_{w_1} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,196}{0,25} \times 0,049 \\
 &= 110542,5 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_w^1 sesuai dengan rumus 2.32

$$\begin{aligned}
 c_w^1 &= \frac{E_p A}{V_s} f_{w_2} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,196}{201,70} \times 0,086 \\
 &= 209,6 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung k_w^g , c_w^g , k_w^f , c_w^f dibutuhkan nilai $\Sigma\alpha_a$ sesuai perhitungan tabel berikut ini:

Tabel 5.10 Nilai $\Sigma\alpha_A$

No	x	y	s	s/2ro	2ro/s	l/2ro	α_A
1	3	0	3,0	6	0,17	52	0,55
2	0	0	0,0	0	0,00	52	0
3	3	0	3,0	6	0,17	52	0,55
4	6	0	6,0	12	0,08	52	0,42
5	9	0	9,0	18	0,06	52	0,38
6	3	2,1	3,7	7,324	0,14	52	0,52
7	0	2,1	2,1	4,2	0,24	52	0,58
8	3	2,1	3,7	7,324	0,14	52	0,51
9	6	2,1	6,4	12,71	0,08	52	0,42
10	9	2,1	9,2	18,48	0,05	52	0,34
11	3	4,2	5,2	10,32	0,10	52	0,45
12	0	4,2	4,2	8,4	0,12	52	0,5
13	3	4,2	5,2	10,32	0,10	52	0,45
14	6	4,2	7,3	14,65	0,07	52	0,4
15	9	4,2	9,9	19,86	0,05	52	0,34
$\Sigma\alpha_A$							6,41

Menghitung k_w^g sesuai dengan rumus 2.33

$$\begin{aligned}
 k_w^g &= \frac{\Sigma_1^n k_w^1}{\Sigma_1^n \alpha_a} \\
 &= \frac{15 \times 110542,5}{6,41} \\
 &= 258680 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_w^g sesuai dengan rumus 2.34

$$\begin{aligned}
 c_w^g &= \frac{\Sigma_1^n c_w^1}{\Sigma_1^n \alpha_a} \\
 &= \frac{15 \times 209,6}{6,41} \\
 &= 490 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung k_w^f , sesuai dengan rumus 2.36

S_1 dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 2,7

S_2 dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 6,7

h adalah nilai kedalaman penanaman $pilecap = 2 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 k_w^f &= G_s \cdot h \cdot S_1 \\
 &= 9269,4 \times 2 \times 2,7 \\
 &= 50054,7 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_w^f , sesuai dengan rumus 2.36

$$\begin{aligned}
 c_w^f &= h r_o S_2 \sqrt{G_s \rho_s} \\
 &= 2 \times 5,26 \times 6,7 \times \sqrt{\frac{9269,4 \times 1,698}{9,81}} \\
 &= 2821,3 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Total k_w^g sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \Sigma k_w^g &= k_w^g + k_w^f \\
 &= 258680 + 50054,7 \\
 &= 308734,44 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Total c_w^f sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \Sigma c_w^g &= c_w^g + c_w^f \\
 &= 490 + 2821,3 \\
 &= 3311,79 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Total ξ_w^g sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \xi_w^g &= \frac{\Sigma c_w^g}{2(\Sigma k_w^g m_c)^{0,5}} \\
 &= \frac{3311,79}{2(308734,44 \times 59,61)^{0,5}} \\
 &= 0,395
 \end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned}
 f_{nw} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_c}} \\
 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{308734,44}{59,61}} \\
 &= 11,72 \text{ cps}
 \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned} f_r &= f_n \sqrt{1 - 2D^2} \\ &= 7,33 \sqrt{1 - 2 \times 0,395^2} \\ &= 9,72 \text{ cps} \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$
resonansi (r) rumus () :

$$\begin{aligned} r &= \frac{f_m}{f_n} \\ &= \frac{50}{11,72} \\ &= 4,27 > 1,2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Transmisibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned} \text{Tr} &= \frac{\sqrt{1+2Dr^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1+2 \times 0,395 \times 4,27^2}}{\sqrt{(1-4,27)^2+(2 \times 0,395 \times 4,27)^2}} \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (Ft)

$$\begin{aligned} F_t &= \text{Tr} \times Q_o \\ &= 0,22 \times 10,22 \text{ Ton} \\ &= 2,29 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Magnification (M) rumus 2.9

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1-4,27)^2+(2 \times 0,395 \times 4,27)^2}} \\ &= 0,057 \end{aligned}$$

Amplitudo (A) rumus 2.8

$$\begin{aligned} A &= M \frac{Q_o}{k} \\ &= 0,057 \times \frac{10,22}{120571} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,89\text{E-}06\text{m} = 7,44\text{E-}05 \text{ inch} \\
 V &= 2\pi f_{\text{mesin}} A \\
 &= 2 \times 3,14 \times 50 \times 7,44\text{E-}05 \text{ inch} = 2,34\text{E-}02 \\
 &\text{Very Good}
 \end{aligned}$$

5.10.2 Analisis Horizontal

Momen Inersia Pile (I)

$$\begin{aligned}
 &= (1/64) * ((0,5^4) - (0,5 - (2 \times 0,09))^4) \\
 &= 0,00255 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_p/G_s &= 2872388,38 / 9269,4 \\
 &= 309,88
 \end{aligned}$$

$$l/r_o = 26 / 0,25 = 104$$

Plot nilai E_p/G_s dan l/r_o ke grafik 2.12 untuk mencari nilai kekakuan f_{x_1} dan redaman f_{x_2}

$$f_{x_1} = 0,044$$

$$f_{x_2} = 0,1081$$

Menghitung k_x^1 sesuai dengan rumus 2.37 :

$$\begin{aligned}
 k_x^1 &= \frac{E_p I}{r_o^3} f_{x_1} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,00255}{0,25^3} \times 0,044 \\
 &= 20652,28 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_x^1 sesuai dengan rumus 2.38 :

$$\begin{aligned}
 c_x^1 &= \frac{E_p I}{r_o^2 V_s} f_{x_2} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,00255}{0,25^2 \times 231,41} \times 0,1081 \\
 &= 54,81 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung k_x^g sesuai dengan rumus 2.39 :

$$\begin{aligned}
 k_x^g &= \frac{\sum_1^n k_x^1}{\sum_1^n \alpha_a} \\
 &= \frac{15 \times 20652,28}{6,41} = 48328,3 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_x^g sesuai dengan rumus 2.40 :

$$\begin{aligned}
 c_x^g &= \frac{\sum_1^n c_x^1}{\sum_1^n \alpha_a} \\
 &= \frac{15 \times 54,82}{13,8} = 128,3 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung k_x^f , sesuai dengan rumus 2.42
 S_{x1} dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 4,1
 S_{x2} dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 10,6
 h adalah nilai kedalaman penanaman *pilecap* = 2 m

$$\begin{aligned}
 k_x^f &= G_s \cdot h \cdot S_{x1} \\
 &= 9269,4 \times 2 \times 4,1 \\
 &= 76009,08 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung c_x^f , sesuai dengan rumus 2.43

$$\begin{aligned}
 c_x^f &= h r_o \sqrt{\frac{G_s \gamma_s}{g}} S_{x2} \\
 &= 2 \times 5,26 \times \sqrt{\frac{9269,4 \times 1,698}{9,81}} \times 10,6 \\
 &= 4463,6 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Total k_x^g sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \Sigma k_x^g &= k_x^g + k_x^f \\
 &= 48328,3 + 76009,08 \\
 &= 124337,34 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Total c_x^f sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \Sigma c_x^g &= c_x^g + c_x^f \\
 &= 128,27 + 4463,56 \\
 &= 4591,8 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Total ξ_x^g sesuai dengan rumus 2.41

$$\xi_x^g = \frac{\Sigma c_x^g}{2(\Sigma k_x^g m_c)^{0,5}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4591,8}{2(124337,34 \times 56,91)^{0,5}} \\
 &= 0,863
 \end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned}
 f_{nx} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_c}} \\
 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{124337,353}{56,91}} \\
 &= 7,44 \text{ cps}
 \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned}
 f_r &= f_n \sqrt{1 - 2D^2} \\
 &= 1,38 \sqrt{1 - 2 \times 0,804^2} \\
 &= \text{khayal}
 \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$

Resonansi (r) rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{resonansi} &= \frac{f_m}{f_n} \\
 &= \frac{50}{7,44} \\
 &= 6,72
 \end{aligned}$$

Transmisibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned}
 \text{Tr} &= \frac{\sqrt{1 + 2Dr^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\
 &= \frac{\sqrt{1 + 2 \times 0,863 \times 6,72^2}}{\sqrt{(1 - 6,72^2)^2 + (2 \times 0,863 \times 6,72)^2}} \\
 &= 0,195
 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (F_t)

$$\begin{aligned}
 F_t &= \text{Tr} \times Q_o \\
 &= 0,195 \times 10,22 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$= 1,99 \text{ Ton}$$

Magnification (M) rumus 2.9 :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1-6,72^2)^2 + (2 \times 0,863 \times 6,72)^2}} \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

Amplitudo (A) rumus 2.8 :

$$\begin{aligned} A &= M \frac{Q_0}{k} \\ &= 0,022 \times \frac{10,22}{124337,34} \\ &= 1,80\text{E-}06 \text{ m} = 7,31\text{E-}05 \text{ inch} \\ V &= 2\pi f_{\text{mesin}} A \\ &= 2 \times 3,14 \times 50 \times 7,31\text{E-}05 \text{ inch} = 2,23\text{E-}02 \\ &\text{Very Good} \end{aligned}$$

5.10.3 Analisis Rocking

Momen Inersia Pile (I)

$$\begin{aligned} &= (1/64) * ((0,5^4) - (0,5 - (2 \times 0,09))^4) \\ &= 0,00255 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$E_p/G_s = 2872388,38 / 9269,4 = 309,88$$

$$l/r_o = 26 / 0,25 = 104$$

Plot nilai E_p/G_s dan l/r_o ke grafik () untuk mencari

nilai kekakuan $f_{x\phi_1}$, f_{ϕ_1} dan redaman $f_{x\phi_2}$, f_{ϕ_2}

$$f_{\phi_1} = 0,4382 \quad f_{x\phi_1} = -0,0925$$

$$f_{\phi_2} = 0,2948 \quad f_{x\phi_2} = -0,1336$$

Menghitung k_{ϕ}^1 sesuai dengan rumus 2.44 :

$$\begin{aligned} k_{\phi}^1 &= \frac{E_p I}{r_o} f_{\phi_1} \\ &= \frac{2872388,38 \times 0,00255}{0,25} \times 0,4382 \\ &= 12856,20 \text{ T/m} \end{aligned}$$

Menghitung c_{ϕ}^1 sesuai dengan rumus 2.45 :

$$\begin{aligned}
 c_{\phi}^1 &= \frac{E_p I}{V_s} f_{\phi_2} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,00255}{201,70} \times 0,3082 \\
 &= 9,34 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung $k_{x\phi}^1$ sesuai dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 k_{x\phi}^1 &= \frac{E_p I}{r_o^2} f_{x\phi_1} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,00214}{0,25^2} \times -0,0925 \\
 &= -11187,43 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung $c_{x\phi}^1$ sesuai dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 c_{x\phi}^1 &= \frac{E_p I}{r_o V_s} f_{x\phi_2} \\
 &= \frac{2872388,38 \times 0,00255}{0,25 \times 201,70} \times -0,1336 \\
 &= -16,93 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung k_{ϕ}^g sesuai dengan rumus 2.46 :

$$\begin{aligned}
 k_{\phi}^g &= \Sigma[k_{\phi}^1 + k_w^1 X_r^2 + k_x^1 Z_c^2 - 2Z_c k_{x\phi}^1] \\
 k_w^1 &= 110542,5 \text{ T/m} \\
 k_x^1 &= 20652,28 \text{ T/m} \\
 Z_c &= 1,66 \text{ m} \\
 X_r &= 0 \text{ m } 3 \text{ titik, } 3 \text{ m dan } 6 \text{ m masing masing } 6 \text{ titik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{\phi}^g &= \Sigma[k_{\phi}^1 + k_w^1 X_r^2 + k_x^1 Z_c^2 - 2Z_c k_{x\phi}^1] \\
 &= 3[12856,20 + 110542,5 \times 0^2 + \\
 &20652,28 \times 1,66^2 - 2 \times 1,66 \times (-11187,43)] \\
 &= 316080,03 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Nilai k_{ϕ}^g untuk variasi X_r sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k_{\phi}^g &= 6601452,86 \text{ T/m} \\
 k_{\phi}^g &= 24509331,27 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

Sehingga total nilai k_{ϕ}^g adalah = $316080,03 + 6601452,86 + 24509331,27 = 31426864,17 \text{ T/m}$

Menghitung c_{ϕ}^g sesuai dengan rumus 2.47 :

$$c_{\phi}^g = \Sigma[c_{\phi}^1 + c_w^1 x_r^2 + c_x^1 Z_c^2 - 2Z_c c_{x\phi}^1]$$

$$c_w^1 = 209,6 \text{ T dt/m}$$

$$c_x^1 = 54,81 \text{ T dt/m}$$

$$c_{\phi}^1 = 9,34 \text{ T dt/m}$$

$$c_{x\phi}^1 = -16,93 \text{ T dt/m}$$

$$Z_c = 1,66 \text{ m}$$

$$X_r = 0 \text{ m } 3 \text{ titik, } 3 \text{ m dan } 6 \text{ m masing masing } 6 \text{ titik}$$

$$c_{\phi}^g = \Sigma[c_{\phi}^1 + c_w^1 x_r^2 + c_x^1 Z_c^2 - 2Z_c c_{x\phi}^1]$$

$$= 0[9,34 + 209,6 \times 0^2 + 54,81 \times 1,66^2 -$$

$$2 \times 1,66 \times (-16,93)]$$

$$= 862,32 \text{ T dt/m}$$

Nilai c_{ϕ}^g untuk variasi X_r sebagai berikut:

$$c_{\phi}^g = 12611,58 \text{ T dt/m}$$

$$c_{\phi}^g = 46565,91 \text{ T dt/m}$$

Sehingga total nilai c_{ϕ}^g adalah =

$$862,32 + 12611,58 + 46565,91 = 60039,81 \text{ T dt/m}$$

Menghitung k_{ϕ}^f , sesuai dengan rumus :

S_{x1} dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 4,1

S_{x2} dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 10,60

$S_{\phi1}$ dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 2,5

$S_{\phi2}$ dari tabel 2.13 untuk nilai $v = 0,4$ adalah 2,5

$$h = 2 \text{ m}$$

$$r_o = 5,26 \text{ m}$$

$$\delta = h/r_o = 2/5,26 = 0,38$$

$$\begin{aligned}
k_{\phi}^f &= G_s r_o^2 h S_{\phi 1} + G_s r_o^2 h \left[\left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{Z_c}{r_o} \right)^2 \right. \\
&\quad \left. - \delta \left(\frac{Z_c}{r_o} \right) \right] S_{x1} \\
&= 9269,4 \times 5,26^2 \times 2 \times 2,5 + 9269,4 \times 5,26^2 \times 2 \\
&\quad \left[\left(\frac{0,38^2}{3} \right) + \left(\frac{1,66}{5,26} \right)^2 - 0,38 \left(\frac{1,66}{5,26} \right) \right] \times 4,1 \\
&= 1381879,79 \text{ T/m}
\end{aligned}$$

Menghitung c_{ϕ}^f , sesuai dengan rumus 2.50 :

$$\begin{aligned}
c_{\phi}^f &= \delta r_o^4 \sqrt{G_s \gamma_s / g} \left\{ S_{\phi 2} + \left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{Z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{Z_c}{r_o} \right) \right\} S_{x2} \\
&= 0,38 \times 5,26^4 \times \sqrt{9269,4 \times 1,698/9,81} \{ \\
&\quad 2,5 + \left[\left(\frac{0,38^2}{3} \right) + \left(\frac{1,66}{5,26} \right)^2 - 0,38 \left(\frac{1,66}{5,26} \right) \right] \} 10,60 \\
&= 120569,59 \text{ T dt/m}
\end{aligned}$$

Total k_{ϕ}^g sesuai dengan rumus :

$$\begin{aligned}
\Sigma k_{\phi}^g &= k_{\phi}^g + k_{\phi}^f \\
&= 31426864,17 + 1381879,79 \\
&= 32808743,96 \text{ T/m}
\end{aligned}$$

Total c_{ϕ}^f sesuai dengan rumus :

$$\begin{aligned}
\Sigma c_{\phi}^g &= c_{\phi}^g + c_{\phi}^f \\
&= 120569,59 + 60039,81 \\
&= 180609,40 \text{ T dt/m}
\end{aligned}$$

Total ξ_{ϕ}^g sesuai dengan rumus

$$\xi_{\phi}^g = \frac{\Sigma c_{\phi}^g}{2(\Sigma k_{\phi}^g M_{mo})^{0,5}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{180609,40}{2(32808743,96 \times 1018,2)^{0,5}} \\
 &= 0,49
 \end{aligned}$$

Frekuensi natural (f_n) rumus 2.13 :

$$\begin{aligned}
 f_{n\phi} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M_{mo}}} \\
 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{32808743,96}{1018,2}} \\
 &= 28,57 \text{ cps}
 \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi (f_r) rumus 2.14 :

$$\begin{aligned}
 f_r &= f_n \sqrt{1 - 2D^2} \\
 &= 28,57 \sqrt{1 - 2 \times 0,49^2} \\
 &= 20,44 \text{ cps}
 \end{aligned}$$

Frekuensi mesin $f_m = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ cps}$

Resonansi (r) rumus :

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{f_m}{f_n} \\
 &= \frac{50}{28,57} \\
 &= 1,75
 \end{aligned}$$

Transmisibility (Tr) rumus 2.6 :

$$\begin{aligned}
 Tr &= \frac{\sqrt{1+2Dr^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2Dr)^2}} \\
 &= \frac{\sqrt{1+2 \times 0,49 \times 1,75^2}}{\sqrt{(1-1,75^2)^2+(2 \times 0,49 \times 1,75)^2}} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

Nilai beban yang disalurkan (Ft)

$$\begin{aligned}
 Ft &= Tr \times Qo \\
 &= 0,75 \times 10,22 \\
 &= 7,62 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Magnification (M) rumus 2.9 :

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2Dr)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{(1-1,75^2)^2 + (2 \times 0,49 \times 1,75)^2}} \\
 &= 0,37 < 0,8 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Amplitudo (A) rumus 2.8 :

$$\begin{aligned}
 A &= M \frac{Q_o}{k} \\
 &= 0,37 \times \frac{10,22}{56075489,91} \\
 &= 1,16\text{E-}07 \text{ rad} \\
 &= 1,16\text{E-}07 \text{ rad} \times (\text{Lebar Pondasi} / 2 \times 100 / 2,54) \\
 &= 1,16\text{E-}07 \text{ rad} \times (6,2/2 \times 100/2,54) \\
 &= 1,41\text{E-}05 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ijin statis + dinamis}} &= 75\% \\
 &= 92,88 \cdot 75\% \\
 &= 69,66 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Beban dinamis yang diterima 1 tiang dalam kelompok

$$\begin{aligned}
 F_t \text{ vertikal} &= Tr \times Q_o \\
 &= 0,22 \times 10,22 \text{ Ton} \\
 &= 2,29 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak rotor ke alas pondasi} &= 4,20 \text{ m} \\
 M_y &= 2,29 \times 4,2 \\
 &= 9,61 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{statis+dinamis}} &= \frac{P + F_t}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \\
 &= \frac{558,30 + 2,29}{36} + \frac{9,61 \times 2,1}{(10 \times 2,1^2)} \\
 &= 37,37 \text{ Ton} + 0,046 \text{ Ton} \\
 &= 38,19 \text{ Ton} < q_{\text{ijin}} = 69,66 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5.11 Analisis Kopel Pondasi Dalam

Pengaruh kopel harus dihitung sebagai pertambahan nilai amplitudo, dengan menggunakan rumus 2.16 hingga 2.24 maka nilai kopel dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \omega &= 2.\pi.f_{\text{mesin}} = 2.\pi.\frac{3000}{60} = 314,16 \text{ rad/s} \\
 \omega_{\text{nx}} &= 2.\pi.f_{\text{nx}} = 2.\pi.7,44 = 46,74 \text{ rad/dt} \\
 \omega_{\text{n}\phi} &= 2.\pi.f_{\text{n}\phi} = 2.\pi.28,57 = 179,50 \text{ rad/dt} \\
 \xi_x^g &= 0,86 \\
 \xi_\phi^g &= 0,49 \\
 m_{\text{total}} &= 56,91 \text{ T dt}^2/\text{m} \\
 M_{\text{m}} &= 862,32 \text{ T m/dt}^2 \\
 M_{\text{mo}} &= 1018,2 \text{ T m/dt}^2 \\
 \gamma &= \frac{M_{\text{m}}}{M_{\text{mo}}} = \frac{862,32}{1018,2} = 0,847 \\
 M_x \text{ Kopel} &= Q_0 \times \text{jarak ke pusat berat gabungan} \\
 &\quad \text{pilecap \& mesin} \\
 &= 10,22 \text{ Ton} \times (2+2,2-1,66) \text{ meter} \\
 &= 26,01 \text{ Tm} \\
 L &= 1,66 \text{ m} \\
 P_x &= 2,29 \text{ Ton} \\
 K_x &= 308734,44 \text{ T/m} \\
 K_\phi &= 32808743,96 \text{ T dt/m}
 \end{aligned}$$

$$A_w = A_{x1} + A_{x2}$$

$$A_\phi = A_{\phi1} + A_{\phi2}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta(\omega)^2 &= \left[\left(\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{\omega_{\text{nx}}^2 + \omega_{\text{n}\phi}^2}{\gamma} - \frac{4\xi_x\xi_\phi\omega_{\text{nx}}\omega_{\text{n}\phi}}{\gamma} \right\} + \frac{\omega_{\text{nx}}^2\omega_{\text{n}\phi}^2}{\gamma} \right)^{2\frac{1}{2}} \right. \\
 &\quad \left. + 4 \left\{ \xi_x \frac{\omega_{\text{nx}}\omega}{\gamma} (\omega_{\text{n}\phi}^2 - \omega^2) + \frac{\xi_\phi\omega_{\text{n}\phi}\omega}{\gamma} (\omega_{\text{nx}}^2 - \omega^2) \right\}^2 \right]
 \end{aligned}$$

$$\Delta(\omega)^2 = \left[\left(314,16^4 - 314,16^2 \left\{ \frac{46,74^2 + 179,50^2}{0,847} - \frac{4 \cdot 0,86 \cdot 0,49 \cdot 46,74 \cdot 179,50}{0,847} \right\} + \frac{46,74^2 \cdot 179,50^2}{0,847} \right)^{2\frac{1}{2}} + 4 \left\{ \frac{0,804 \cdot 46,74 \cdot 314,16}{0,847} (179,50^2 - 314,16^2) + \frac{0,49 \cdot 179,50 \cdot 314,16}{0,847} (46,74^2 - 314,16^2) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta(\omega)^2 = 8,20\text{E}+12$$

$$A_{x1} = \frac{M_x L \left[(\omega_{nx})^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega)^2}$$

$$A_{x1} = \frac{26,01 \cdot 1,66 \left[(46,74^2)^2 + (2 \cdot 0,86 \cdot 46,74 \cdot 314,16)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{1018,2 \cdot 8,20\text{E} + 12}$$

$$A_{x1} = 7,78852\text{E}-12 \text{ m}$$

$$A_{x2} = \frac{P_x}{m M_m} \frac{\left[(-M_m \omega^2 + K_\phi + K_x L^2)^2 + 4\omega (\xi_\phi \sqrt{K_\phi M_m} + L^2 \xi_x \sqrt{K_x m})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2}$$

$$A_{x2} = \frac{1,83}{56,91 \times 1018,2} x$$

$$\left[(-1018,2 \cdot 314,16^2 + 32808743,96 + 111617 \cdot 1,66^2)^2 + \frac{4 \cdot 314,16 \left(0,49 \sqrt{32808743,96 \cdot 1018,2} + 1,66^2 \cdot 0,86 \sqrt{308734,44 \cdot 56,91} \right)^2}{8,20\text{E} + 12} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{x2} = 2,24213\text{E}-10$$

$$A_{x1} + A_{x2} = 7,78852\text{E}-12 + 2,24213\text{E}-10$$

$$= 2,32001\text{E-}10 \text{ m} = 9,134\text{E-}09 \text{ inch}$$

$$A_{\phi 1} = \frac{M_y}{M_m} \frac{[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2\xi_x \omega_{nx} \omega)^2]^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega)^2}$$

$$A_{\phi 1} = \frac{26,01}{862,32} \frac{[(46,74^2 - 314,16^2)^2 + (2,0,86,46,74,314,16)^2]^{\frac{1}{2}}}{8,20\text{E} + 12}$$

$$A_{\phi 1} = 2,67\text{E-}10$$

$$A_{\phi 2} = \frac{P_x L \omega_{nx} (\omega_{nx}^2 + 4\xi_x \omega^2)^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega)^2}$$

$$A_{\phi 2} = \frac{1,83,1,66 \ 46,74(46,74^2 + 4,0,86,314,16^2)^{\frac{1}{2}}}{862,32 \ 8,20\text{E} + 12}$$

$$A_{\phi 2} = 2,42\text{E-}09$$

$$\begin{aligned} A_{\phi 1} + A_{\phi 2} &= 2,67\text{E-}10 + 2,42\text{-E}09 \\ &= 2,79\text{E-}09 \text{ rad} \\ &= 2,79\text{E-}09 \text{ rad} \times \frac{B}{2} \times \frac{100}{2,54} \\ &= 3,41\text{E-}08 \text{ inch} \end{aligned}$$

Nilai amplitudo **horizontal** akibat pengaruh kopel adalah :

$$A_x = 7,31\text{E-}05 \text{ inch}$$

$$A_{x1} + A_{x2} = 9,134\text{E-}09 \text{ inch}$$

$$A_{\phi 1} + A_{\phi 2} = 2,79\text{E-}09 \text{ rad}$$

Total Nilai Amplitudo Horizontal

$$\begin{aligned} &= A_x + A_{x1} + A_{x2} + ((A_{\phi 1} + A_{\phi 2}) \times \\ &\quad (\text{jarak pusat rotor ke pusat pilecap dan mesin})) \\ &= 7,09\text{E-}05 \text{ inch} + 9,134\text{E-}09 \text{ inch} + (2,79\text{E-}09 \\ &\quad \text{rad} \times (2+2,2-1,66) \times \frac{100}{2,54}) \\ &= 7,36\text{E-}05 \text{ inch} \end{aligned}$$

Sesuai tabel 2.5 masuk ke area “*Not Noticeable to Persons*”

Nilai amplitudo **vertikal** akibat pengaruh kopel adalah :

$$A_z = 7,44 \text{ E-05 inch}$$

$$A_{\phi 1} + A_{\phi 2} = 2,79 \text{ E-08 rad}$$

$$= 2,79 \text{ E-08 rad} \times \frac{B}{2} \times \frac{100}{2,54}$$

$$= 3,41 \text{ E-06 inch}$$

$$\text{Total Nilai} = A_z + A_{\phi 1} + A_{\phi 2}$$

$$= 7,44 \text{ E-05 inch} + 3,41 \text{ E-06 inch}$$

$$= 7,78 \text{ E-05 inch}$$

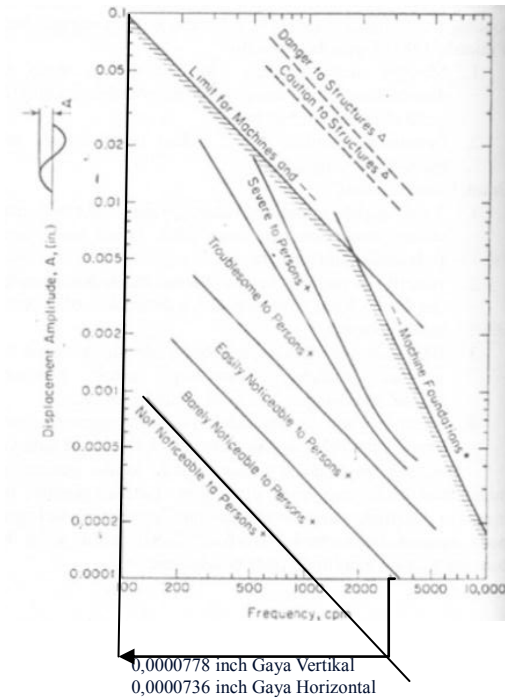
Sesuai tabel 2.5 masuk ke area “*Not Noticeable to Persons*”

Tabel 5.11 Rekapitulasi Desain Pondasi Dalam

No	Parameter	Vertikal	Horizontal	Rocking
1	Damping (D)	0,395	0,863	0,49
2	Natural Frekuensi	11,72 cps	7,44 cps	28,57 cps
	Gaya Pegas (Qo)	10,22 Ton	10,22 Ton	10,22 Ton
	Transmisibility (Tr)	0,22	0,195	0,75
	Transmitted Force (Ft)	2,29 Ton	1,99 Ton	7,62 Ton
	Magnification	0,057	0,02	0,37
3	Amplitudo (A)	7,4397E-05	7,31E-05	1,41245E-05
	Amplitudo + Kopel	7,78E-05	7,36E-05	-
	Velocity	2,44E-02	2,31E-02	

Velocity sesuai Gambar 2.6 masuk area B sehingga memenuhi syarat.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{dina}} &= \frac{V}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \\
 &= \frac{558,30}{15} + \frac{42,93 \times 2,1}{(10 \times 2,1^2)} \\
 &= 37,22 \text{ Ton} + 0,204 \text{ Ton} \\
 &= 37,425 \text{ Ton} < q \text{ ijin} = 46,44 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.7 Plotting Analisis Pondasi Dalam ke Grafik

5.12 Analisis Biaya Pelaksanaan

Analisis biaya pelaksanaan dilakukan untuk menentukan jenis pondasi yang bisa dilaksanakan dengan biaya paling rendah. Terdapat perbedaan pelaksanaan pada kedua jenis pondasi. Pondasi dangkal membutuhkan *Surcharge* dan *Prefabricated Vertikal Drain (PVD)* untuk mempercepat pemampatan, sedangkan pondasi dalam tidak membutuhkan keduanya namun memerlukan tiang pancang sedalam 26 m diameter 50 cm.

Dasar analisis biaya pelaksanaan adalah Peraturan Menteri Perhubungan no 78 tahun 2014.

Perhitungan secara rinci terdapat pada lampiran.

Tabel 5.12 Bill of Quantity

No	Pekerjaan	Volume	Satuan
A	Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah		
1	Pemasangan PVD	162 buah	
2	Galian Tanah Keras	198,4 m3	
3	Urugan Sirtu dan Pemadatan	605,62 m3	
4	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4 m3	
B	Pondasi Tiang tanpa Perbaikan Tanah		
1	Galian Tanah Keras	198,4 m3	
2	Penyambungan Tiang Pancang	15 buah	
3	Pengadaan Tiang Pancang	30 buah	
4	Pemancangan Tiang Tegak	26 m'	
5	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4 m3	

Tabel 5.13 Total Jumlah Terkoreksi Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
A	Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah				
1	Pemasangan PVD	162	buah	Rp 2.941.959	Rp 476.597.392
2	Galian Tanah Keras	198,4	m3	Rp 66.349	Rp 13.163.657
3	Urugan Sirtu dan Pemadatan	605,62	m3	Rp 293.556	Rp 177.783.367
4	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4	m3	Rp 6.182.672	Rp 1.226.642.186
				Jumlah	Rp 1.894.186.602
				+PPN10%	Rp 189.418.660
				Total Jumlah	Rp 2.083.605.262
	Indeks Kemahalan (IK) Kemcuhub Kota Surabaya				0,9260
	Total Jumlah Terkoreksi = Total Jumlah x IK				Rp 1.929.418.473

Tabel 5.14 Total Jumlah Terkoreksi Pondasi Dangkal tanpa Perbaikan Tanah

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
B	Pondasi Tiang tanpa Perbaikan Tanah				
1	Galian Tanah Keras	198,4	m3	Rp 66.349	Rp 13.163.657
2	Penyambungan Tiang Pancang	15	buah	Rp 601.473	Rp 9.022.096
3	Pengadaan Tiang Pancang	30	buah	Rp 5.700.000	Rp 171.000.000
4	Pemancangan Tiang Tegak	26	m'	Rp 596.562	Rp 15.510.605
5	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4	m3	Rp 6.182.672	Rp 1.226.642.186
				Jumlah	Rp 1.435.338.545
				+PPN10%	Rp 143.533.854
				Total Jumlah	Rp 1.578.872.399
	Indeks Kemahalan (IK) Kemcuhub Kota Surabaya				0,9260
	Total Jumlah Terkoreksi = Total Jumlah x IK				Rp 1.462.035.842

Setelah dilakukan analisis biaya pelaksanaan, diketahui nilai pelaksanaan **pondasi dangkal dengan perbaikan tanah** sebesar **Rp1.929.418.473** sedangkan biaya pelaksanaan **pondasi tiang tanpa perbaikan tanah** sebesar **Rp1.462.035.842** sehingga pondasi tiang dipilih sebagai desain pondasi karena lebih murah.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VI PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam Tugas Akhir ini diperoleh kesimpulan yaitu :

- a. Jenis tanah pada area pembangunan pondasi turbin adalah dominan lempung lunak. Kedalaman tanah *compressible* mencapai -26 m sesuai hasil NSPT > 10 berada pada kedalaman tersebut.
- b. Area pembangunan pondasi perlu ditimbun setinggi 3,1 m untuk mencapai ketinggian h_{final} 2 m.
- c. Perencanaan pondasi dangkal menghasilkan desain dengan ukuran pilecap 14 m x 6,2 m x 2,2 m. Amplitudo Vertikal ditambah kopel sebesar 7,32E-05 inch dan Amplitudo Horizontal ditambah kopel sebesar 7,31E-05 inch Sesuai tabel 2.5 masuk ke area “Not Noticeable to Persons”. Jenis pondasi ini memerlukan pemasangan *PVD* karena konsolidasi selesai setelah 64,03 tahun dan perlu mereplace lapisan tanah guna perbaikan daya dukung.
- d. Perencanaan pondasi dalam dengan tiang menghasilkan desain dengan ukuran pilecap 14 m x 6,2 m x 2,2 m dengan jumlah tiang sebanyak 15 tiang diameter 0,5 m. Amplitudo Horizontal ditambah kopel sebesar 7,36E-05 inch dan Amplitudo Vertikal ditambah kopel sebesar 7,78E-05 inch. Sesuai tabel 2.5 masuk ke area “Not Noticeable to Persons”
- e. Metode percepatan konsolidasi menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) tipe floaddrain dengan ukuran 100 mm x 5 mm. Jarak pemasangan 0,75 m dengan pola pemasangan segiempat karena pada durasi 9 minggu mencapai derajat konsolidasi 90%.
- f. Timbunan memerlukan perkuatan berupa dinding tegak vertikal geotextile tipe UW-250 Teknindo

Geosistem Unggul dengan kuat tarik maksimal sebesar 5,2 T/m.

- g. Pondasi yang dipilih adalah pondasi dalam dengan pertimbangan lebih mudah dalam pelaksanaan. Pondasi dangkal memerlukan lebih banyak metode pelaksanaan seperti pemasangan PVD, Preloading dan jika Cu baru tidak memenuhi kebutuhan daya dukung, perlu tambahan perkuatan seperti *Replace* tanah dasar.
- h. Pelaksanaan pondasi dangkal dengan perbaikan tanah sebesar Rp1.929.418.473 sedangkan biaya pelaksanaan pondasi tiang tanpa perbaikan tanah sebesar Rp1.462.035.842 sehingga pondasi tiang dipilih sebagai desain pondasi karena lebih murah.

5.2 Saran

Dalam pelaksanaan di lapangan, perlu diperhatikan pengawasan ahli geoteknik dalam membangun pondasi. Keakuratan konsolidasi dipengaruhi oleh ketepatan pemasangan PVD sedangkan perkuatan timbunan setinggi 3,1 m menggunakan geotextile.

Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pemilihan jenis pondasi ditinjau dari nilai ekonomi jangka panjang meliputi perawatan dan pemeliharaan agar jenis pondasi yang digunakan efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2016. "Prefabricated Vertical Drain" (Online), (<http://www.fibromat.com.my/products/prefabricated-vertical-drain/>). Diakses 1 Juni 2016
- Arya, Suresh C, Michael W. O'Neill, dan George Pincus. 1981. "Design of Structure and Foundation for Vibrating Machines" Texas. Gulf Publishing Company.
- Bromham, S.B. dan Styles, J.R. 1971. "An Analysis of Pile Loading Tests in Stiff Clay". Melbourne.
- Das, Braja M. 1988. "Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik" Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Dwiutama, Herjuna Widhi Arya. 2016. "Alternatif Metode Perbaikan Tanah dan Perencanaan Pondasi untuk Penanganan Masalah Stabilitas Tanah Lunak pada Areal Causeway di Proyek Pabrik Nikel Baluran Situbondo". Surabaya: ITS
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2007. "Mekanika Tanah II" Edisi IV. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Kartikasari, Mevieta Dyah. 2012. "Perancangan Pondasi *Gas Turbine* Proyek Pembangunan Unit V PLTGU PT PLN Termal Muara Tawar, Bekasi – Jawa Barat". Surabaya: ITS
- Mochtar, Noor Endah. 2012. "Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah". Surabaya: FTSP – ITS
- Republik Indonesia. 2014. Peraturan Menteri Perhubungan No. 78 Tahun 2014 tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementerian Perhubungan. Menteri Perhubungan. Jakarta
- Sidharta, Ananta. 2009. "Diktat Pondasi Beban Dinamis". Surabaya: ITS
- Untung, Djoko. 2010. "Rekayasa Pondasi Tiang". Surabaya: ITS
- Wahyudi, Herman. 1999. "Daya Dukung Pondasi Dangkal". Surabaya: ITS

Penurunan Akibat Beban 1,0 T/m²

NO	Tebal Lapisa m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	$2\Delta P_1$		
									t/m ²	m	m	radian	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,57	0,13	1,606	0,080	1,680	2,0	65	0	0,000	1,570	1,999	2,08	0,009
2	0,9	0,55	1,465	0,57	0,13	0,606	0,433	2,0333	2,0	65	0	0,000	1,562	2,000	2,43	0,049
3	1	1,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,009	2,609	2,0	65	0	0,000	1,548	2,000	3,01	0,037
4	1	2,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,615	3,215	2,0	65	0	0,000	1,532	2,000	3,61	0,028
5	1	3,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,221	3,821	2,0	65	0	0,000	1,517	2,000	4,22	0,023
6	1	4,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,827	4,427	2,0	65	0	0,000	1,502	2,000	4,83	0,019
7	1	5,5	1,465	0,57	0,13	0,606	3,433	5,033	2,0	65	0	0,000	1,486	1,999	5,43	0,017
8	1	6,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,039	5,639	2,0	65	0	0,000	1,471	1,999	6,04	0,015
9	1	7,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,645	6,245	2,0	65	0	0,000	1,456	1,999	6,64	0,013
10	1	8,5	1,465	0,57	0,13	0,606	5,251	6,851	2,0	65	0	0,000	1,441	1,998	7,25	0,012
11	1	9,5	0,794	0,00	0,00	0,852	5,980	7,58	2,0	65	0	0,000	1,426	1,997	7,98	0,000
12	1	10,5	0,794	0,00	0,00	0,852	6,832	8,432	2,0	65	0	0,000	1,411	1,997	8,83	0,000
13	1	11,5	0,794	0,00	0,00	0,852	7,684	9,284	2,0	65	0	0,000	1,396	1,995	9,68	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,00	0,00	0,852	8,323	9,923	2,0	65	0	0,000	1,385	1,995	10,32	0,000
15	1	13	1,36	0,54	0,13	0,692	8,882	10,482	2,0	65	0	0,000	1,373	1,994	10,88	0,008
16	1	14	1,36	0,54	0,13	0,692	9,574	11,174	2,0	65	0	0,000	1,359	1,992	11,57	0,007
17	1	15	1,36	0,54	0,13	0,692	10,266	11,866	2,0	65	0	0,000	1,344	1,990	12,26	0,007
18	1	16	1,36	0,54	0,13	0,692	10,958	12,558	2,0	65	0	0,000	1,329	1,988	12,95	0,006
19	1	17	1,36	0,54	0,13	0,692	11,650	13,25	2,0	65	0	0,000	1,315	1,986	13,64	0,006
20	1	18	1,36	0,54	0,13	0,692	12,342	13,942	2,0	65	0	0,000	1,301	1,984	14,33	0,006
21	1	19	1,294	0,48	0,11	0,698	13,037	14,637	2,0	65	0	0,000	1,286	1,981	15,02	0,005
22	1	20	1,294	0,48	0,11	0,698	13,735	15,335	2,0	65	0	0,000	1,272	1,978	15,71	0,005
23	1	21	1,294	0,48	0,11	0,698	14,433	16,033	2,0	65	0	0,000	1,258	1,975	16,41	0,004
24	0,5	21,75	1,294	0,48	0,11	0,698	14,957	16,5565	2,0	65	0	0,000	1,248	1,972	16,93	0,002
25	1	22,5	1,217	0,47	0,12	0,74	15,501	17,101	2,0	65	0	0,000	1,238	1,969	17,47	0,004
26	1	23,5	1,217	0,47	0,12	0,74	16,241	17,841	2,0	65	0	0,000	1,224	1,965	18,21	0,004
27	2	25	1,217	0,47	0,12	0,74	17,351	18,951	2,0	65	0	0,000	1,204	1,959	19,31	0,007

Total Penurunan Saat Beban 1,0 T/m² 0,292

Penurunan Akibat Timbunan 2,0 m

2

NO	Tebal Lapisa m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	$2\Delta P_1$		
									t/m ²	m	m	radian	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	3,0	65	0	0,000	1,570	3,000	3,080	0,013
2	0,9	0,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	3,0	65	0	0,000	1,562	3,000	3,433	0,080
3	1	1,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	3,0	65	0	0,000	1,548	3,000	4,009	0,066
4	1	2,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	3,0	65	0	0,000	1,532	3,000	4,615	0,053
5	1	3,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	3,0	65	0	0,000	1,517	3,000	5,221	0,044
6	1	4,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	3,0	65	0	0,000	1,502	3,000	5,827	0,038
7	1	5,5	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	3,0	65	0	0,000	1,486	2,999	6,432	0,034
8	1	6,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	3,0	65	0	0,000	1,471	2,999	7,038	0,030
9	1	7,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	3,0	65	0	0,000	1,456	2,998	7,643	0,027
10	1	8,5	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	3,0	65	0	0,000	1,441	2,997	8,248	0,025
11	1	9,5	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	3,0	65	0	0,000	1,426	2,996	8,976	0,000
12	1	10,5	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	3,0	65	0	0,000	1,411	2,995	9,827	0,000
13	1	11,5	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	3,0	65	0	0,000	1,396	2,993	10,677	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	3,0	65	0	0,000	1,385	2,992	11,315	0,000
15	1	13	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	3,0	65	0	0,000	1,373	2,990	11,872	0,016
16	1	14	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	3,0	65	0	0,000	1,359	2,988	12,562	0,015
17	1	15	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	3,0	65	0	0,000	1,344	2,985	13,251	0,014
18	1	16	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	3,0	65	0	0,000	1,329	2,982	13,940	0,014
19	1	17	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	3,0	65	0	0,000	1,315	2,979	14,629	0,013
20	1	18	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	3,0	65	0	0,000	1,301	2,975	15,317	0,012
21	1	19	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	3,0	65	0	0,000	1,286	2,971	16,008	0,011
22	1	20	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	3,0	65	0	0,000	1,272	2,967	16,702	0,010
23	1	21	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	3,0	65	0	0,000	1,258	2,962	17,395	0,010
24	0,5	21,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,5565	3,0	65	0	0,000	1,248	2,958	17,915	0,005
25	1	22,5	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	3,0	65	0	0,000	1,238	2,954	18,455	0,009
26	1	23,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	3,0	65	0	0,000	1,224	2,948	19,189	0,009
27	2	25	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	3,0	65	0	0,000	1,204	2,939	20,290	0,017

Total Penurunan Saat Beban 2,0 T/m² 0,565

Penurunan Akibat Timbunan 3 m

3

NO	Tebal Lapisa m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radian	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	4,0	65	0	0,000	1,570	4,00	4,080	0,016
2	0,9	0,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	4,0	65	0	0,000	1,562	4,00	4,433	0,103
3	1	1,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	4,0	65	0	0,000	1,548	4,00	5,009	0,088
4	1	2,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	4,0	65	0	0,000	1,532	4,00	5,615	0,072
5	1	3,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	4,0	65	0	0,000	1,517	4,00	6,221	0,062
6	1	4,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	4,0	65	0	0,000	1,502	4,00	6,826	0,054
7	1	5,5	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	4,0	65	0	0,000	1,486	4,00	7,432	0,048
8	1	6,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	4,0	65	0	0,000	1,471	4,00	8,037	0,044
9	1	7,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	4,0	65	0	0,000	1,456	4,00	8,642	0,040
10	1	8,5	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	4,0	65	0	0,000	1,441	4,00	9,247	0,036
11	1	9,5	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	4,0	65	0	0,000	1,426	3,99	9,975	0,000
12	1	10,5	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	4,0	65	0	0,000	1,411	3,99	10,825	0,000
13	1	11,5	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	4,0	65	0	0,000	1,396	3,99	11,675	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	4,0	65	0	0,000	1,385	3,99	12,312	0,000
15	1	13	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	4,0	65	0	0,000	1,373	3,99	12,869	0,024
16	1	14	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	4,0	65	0	0,000	1,359	3,98	13,558	0,023
17	1	15	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	4,0	65	0	0,000	1,344	3,98	14,246	0,022
18	1	16	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	4,0	65	0	0,000	1,329	3,98	14,934	0,020
19	1	17	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	4,0	65	0	0,000	1,315	3,97	15,622	0,019
20	1	18	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	4,0	65	0	0,000	1,301	3,97	16,309	0,018
21	1	19	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	4,0	65	0	0,000	1,286	3,96	16,999	0,016
22	1	20	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	4,0	65	0	0,000	1,272	3,96	17,691	0,015
23	1	21	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	4,0	65	0	0,000	1,258	3,95	18,382	0,015
24	0,5	21,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,5565	4,0	65	0	0,000	1,248	3,94	18,901	0,007
25	1	22,5	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	4,0	65	0	0,000	1,238	3,94	19,440	0,014
26	1	23,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	4,0	65	0	0,000	1,224	3,93	20,17	0,014
27	1	24,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,981	18,581	4,0	65	0	0,000	1,210	3,92	20,90	0,013

Total Penurunan Saat Beban 3,0 T/m² 0,784

Penurunan Akibat Timbunan 4 m

NO	Tebal Lapisa m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radian	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	5,0	65	0	0,000	1,570	5,00	5,080	0,018
2	0,9	0,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	5,0	65	0	0,000	1,562	5,00	5,433	0,122
3	1	1,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	5,0	65	0	0,000	1,548	5,00	6,009	0,106
4	1	2,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	5,0	65	0	0,000	1,532	5,00	6,615	0,089
5	1	3,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	5,0	65	0	0,000	1,517	5,00	7,221	0,077
6	1	4,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	5,0	65	0	0,000	1,502	5,00	7,826	0,068
7	1	5,5	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	5,0	65	0	0,000	1,486	5,00	8,432	0,061
8	1	6,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	5,0	65	0	0,000	1,471	5,00	9,037	0,055
9	1	7,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	5,0	65	0	0,000	1,456	5,00	9,642	0,051
10	1	8,5	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	5,0	65	0	0,000	1,441	5,00	10,246	0,047
11	1	9,5	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	5,0	65	0	0,000	1,426	4,99	10,974	0,000
12	1	10,5	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	5,0	65	0	0,000	1,411	4,99	11,823	0,000
13	1	11,5	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	5,0	65	0	0,000	1,396	4,99	12,673	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	5,0	65	0	0,000	1,385	4,99	13,309	0,000
15	1	13	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	5,0	65	0	0,000	1,373	4,98	13,866	0,032
16	1	14	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	5,0	65	0	0,000	1,359	4,98	14,554	0,030
17	1	15	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	5,0	65	0	0,000	1,344	4,98	15,241	0,028
18	1	16	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	5,0	65	0	0,000	1,329	4,97	15,929	0,027
19	1	17	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	5,0	65	0	0,000	1,315	4,96	16,615	0,026
20	1	18	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	5,0	65	0	0,000	1,301	4,96	17,301	0,024
21	1	19	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	5,0	65	0	0,000	1,286	4,95	17,989	0,021
22	1	20	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	5,0	65	0	0,000	1,272	4,94	18,680	0,020
23	1	21	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	5,0	65	0	0,000	1,258	4,94	19,369	0,019
24	0,5	21,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,5565	5,0	65	0	0,000	1,248	4,93	19,887	0,009
25	1	22,5	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	5,0	65	0	0,000	1,238	4,92	20,424	0,019
26	1	23,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	5,0	65	0	0,000	1,224	4,91	21,155	0,018
27	1	24,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,981	18,581	5,0	65	0	0,000	1,210	4,90	21,884	0,017

Total Penurunan Saat Beban 4,0 T/m² 0,98

Penurunan Akibat Timbunan 5 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	$2\Delta P_1$		
									t/m ²	m	m	radian	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	6,0	65	0	0,000	1,570	6,00	6,080	0,020
2	0,9	0,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	6,0	65	0	0,000	1,562	6,00	6,433	0,137
3	1	1,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	6,0	65	0	0,000	1,548	6,00	7,009	0,122
4	1	2,5	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	6,0	65	0	0,000	1,532	6,00	7,615	0,103
5	1	3,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	6,0	65	0	0,000	1,517	6,00	8,221	0,090
6	1	4,5	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	6,0	65	0	0,000	1,502	6,00	8,826	0,080
7	1	5,5	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	6,0	65	0	0,000	1,486	6,00	9,431	0,072
8	1	6,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	6,0	65	0	0,000	1,471	6,00	10,036	0,066
9	1	7,5	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	6,0	65	0	0,000	1,456	6,00	10,641	0,061
10	1	8,5	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	6,0	65	0	0,000	1,441	5,99	11,245	0,056
11	1	9,5	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	6,0	65	0	0,000	1,426	5,99	11,972	0,000
12	1	10,5	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	6,0	65	0	0,000	1,411	5,99	12,822	0,000
13	1	11,5	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	6,0	65	0	0,000	1,396	5,99	13,670	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	6,0	65	0	0,000	1,385	5,98	14,307	0,000
15	1	13	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	6,0	65	0	0,000	1,373	5,98	14,863	0,039
16	1	14	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	6,0	65	0	0,000	1,359	5,98	15,550	0,036
17	1	15	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	6,0	65	0	0,000	1,344	5,97	16,237	0,035
18	1	16	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	6,0	65	0	0,000	1,329	5,96	16,923	0,033
19	1	17	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	6,0	65	0	0,000	1,315	5,96	17,608	0,031
20	1	18	1,36	0,539	0,130	0,692	12,3420	13,942	6,0	65	0	0,000	1,301	5,95	18,293	0,030
21	1	19	1,294	0,479	0,114	0,698	13,0370	14,637	6,0	65	0	0,000	1,286	5,94	18,979	0,026
22	1	20	1,294	0,479	0,114	0,698	13,7350	15,335	6,0	65	0	0,000	1,272	5,93	19,668	0,025
23	1	21	1,294	0,479	0,114	0,698	14,4330	16,033	6,0	65	0	0,000	1,258	5,92	20,357	0,024
24	0,5	21,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,5565	6,0	65	0	0,000	1,248	5,92	20,873	0,012
25	1	22,5	1,217	0,473	0,116	0,74	15,5010	17,101	6,0	65	0	0,000	1,238	5,91	21,409	0,023
26	1	23,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,2410	17,841	6,0	65	0	0,000	1,224	5,90	22,137	0,022
27	1	24,5	1,217	0,473	0,116	0,74	16,9810	18,581	6,0	65	0	0,000	1,210	5,88	22,865	0,021

Total Penurunan Saat Beban 5,0 T/m² 1,16

Penurunan Saat tahap Timbunan 0,5 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	0,05	1,465	0,57	0,13	1,606	0,080	1,680	0,985	65	0	0	1,570	0,985	1,065	0,006
2	0,9	0,55	1,465	0,57	0,13	0,606	0,433	2,033	0,985	65	0	0	1,562	0,985	1,418	0,025
3	1	1,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,548	0,985	1,994	0,016
4	1	2,5	1,465	0,57	0,13	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,532	0,985	2,600	0,011
5	1	3,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,517	0,985	3,206	0,009
6	1	4,5	1,465	0,57	0,13	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,502	0,985	3,812	0,007
7	1	5,5	1,465	0,57	0,13	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,486	0,985	4,418	0,006
8	1	6,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,471	0,985	5,024	0,005
9	1	7,5	1,465	0,57	0,13	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,456	0,984	5,629	0,005
10	1	8,5	1,465	0,57	0,13	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,441	0,984	6,235	0,004
11	1	9,5	0,794	0,00	0,00	0,852	5,980	7,580	0,985	65	0	0	1,426	0,984	6,964	0,000
12	1	10,5	0,794	0,00	0,00	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,411	0,983	7,815	0,000
13	1	11,5	0,794	0,00	0,00	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,396	0,983	8,667	0,000
14	0,5	12,25	0,794	0,00	0,00	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,385	0,982	9,305	0,000
15	1	13	1,36	0,54	0,13	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,373	0,982	9,864	0,003
16	1	14	1,36	0,54	0,13	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,359	0,981	10,555	0,002
17	1	15	1,36	0,54	0,13	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,344	0,980	11,246	0,002
18	1	16	1,36	0,54	0,13	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,329	0,979	11,937	0,002
19	1	17	1,36	0,54	0,13	0,692	11,650	13,250	0,985	65	0	0	1,315	0,978	12,628	0,002
20	1	18	1,36	0,54	0,13	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,301	0,977	13,319	0,002
21	1	19	1,294	0,48	0,11	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,286	0,976	14,013	0,002
22	1	20	1,294	0,48	0,11	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,272	0,974	14,709	0,001
23	1	21	1,294	0,48	0,11	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,258	0,972	15,405	0,001
24	0,5	21,75	1,294	0,48	0,11	0,698	14,957	16,557	0,985	65	0	0	1,248	0,971	15,928	0,001
25	1	22,5	1,217	0,47	0,12	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,238	0,970	16,471	0,001
26	1	23,5	1,217	0,47	0,12	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,224	0,968	17,209	0,001
27	2	25	1,217	0,47	0,12	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,204	0,965	18,316	0,002

Total Penurunan Saat tahap Timbunan 0,5 m 0,1169

Penurunan Saat tahap Timbunan 1,0 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	Pc' t/m ²	Timbunan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	0,55	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,680	0,985	65	0	0	1,562	1,970	2,050	0,009
2	0,9	1,05	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,033	0,985	65	0	0	1,555	1,970	2,403	0,048
3	1	2,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,540	1,970	2,979	0,036
4	1	3,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,525	1,970	3,585	0,027
5	1	4,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,509	1,970	4,191	0,022
6	1	5,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,494	1,970	4,797	0,019
7	1	6,00	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,479	1,969	5,402	0,016
8	1	7,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,464	1,969	6,008	0,014
9	1	8,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,448	1,969	6,614	0,013
10	1	9,00	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,433	1,968	7,219	0,012
11	1	10,00	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,580	0,985	65	0	0	1,418	1,967	7,947	0,000
12	1	11,00	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,403	1,966	8,798	0,000
13	1	12,00	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,388	1,965	9,649	0,000
14	0,5	12,75	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,377	1,964	10,287	0,000
15	1	13,50	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,366	1,963	10,845	0,007
16	1	14,50	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,351	1,962	11,536	0,007
17	1	15,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,337	1,960	12,226	0,006
18	1	16,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,322	1,958	12,916	0,006
19	1	17,50	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,250	0,985	65	0	0	1,308	1,956	13,606	0,006
20	1	18,50	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,294	1,953	14,295	0,005
21	1	19,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,279	1,950	14,987	0,005
22	1	20,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,265	1,947	15,682	0,004
23	1	21,50	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,251	1,944	16,377	0,004
24	0,5	22,25	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,557	0,985	65	0	0	1,241	1,942	16,898	0,002
25	1	23,00	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,231	1,939	17,440	0,004
26	1	24,00	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,217	1,935	18,176	0,004
27	2	25,50	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,197	1,929	19,280	0,007

Total Penurunan Saat tahap Timbunan 1,0 m 0,2834

Penurunan Saat tahap Timbunan 1,5 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	1,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	0,985	65	0	0	1,555	2,955	3,035	0,013
2	0,9	1,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	0,985	65	0	0	1,547	2,955	3,388	0,079
3	1	2,50	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,532	2,955	3,964	0,064
4	1	3,50	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,517	2,955	4,570	0,052
5	1	4,50	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,502	2,955	5,176	0,043
6	1	5,50	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,486	2,954	5,781	0,037
7	1	6,50	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,471	2,954	6,387	0,033
8	1	7,50	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,456	2,953	6,992	0,029
9	1	8,50	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,441	2,953	7,598	0,027
10	1	9,50	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,426	2,952	8,203	0,024
11	1	10,50	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	0,985	65	0	0	1,411	2,951	8,931	0,000
12	1	11,50	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,396	2,949	9,781	0,000
13	1	12,50	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,381	2,947	10,631	0,000
14	0,5	13,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,370	2,946	11,269	0,000
15	1	14,00	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,359	2,944	11,826	0,016
16	1	15,00	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,344	2,942	12,516	0,015
17	1	16,00	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,329	2,939	13,205	0,014
18	1	17,00	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,315	2,936	13,894	0,013
19	1	18,00	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	0,985	65	0	0	1,301	2,932	14,582	0,013
20	1	19,00	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,286	2,929	15,271	0,012
21	1	20,00	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,272	2,924	15,961	0,010
22	1	21,00	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,258	2,920	16,655	0,010
23	1	22,00	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,244	2,915	17,348	0,009
24	0,5	22,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,9565	16,5565	0,985	65	0	0	1,234	2,911	17,867	0,005
25	1	23,50	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,224	2,907	18,408	0,009
26	1	24,50	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,210	2,901	19,14	0,009
27	2	26,00	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,190	2,891	20,24	0,016

Total Penurunan Saat tahap Timbunan 1,5 m 0,5533

Penurunan Saat tahap Timbunan 2,0 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	1,55	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	0,985	65	0	0	1,547	3,940	4,020	0,016
2	0,9	2,05	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	0,985	65	0	0	1,539	3,940	4,373	0,102
3	1	3,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,525	3,940	4,949	0,087
4	1	4,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,509	3,940	5,555	0,071
5	1	5,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,494	3,940	6,161	0,061
6	1	6,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,479	3,939	6,766	0,053
7	1	7,00	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,464	3,938	7,371	0,047
8	1	8,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,448	3,938	7,977	0,043
9	1	9,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,433	3,937	8,582	0,039
10	1	10,00	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,418	3,935	9,186	0,036
11	1	11,00	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	0,985	65	0	0	1,403	3,934	9,914	0,000
12	1	12,00	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,388	3,932	10,764	0,000
13	1	13,00	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,373	3,929	11,613	0,000
14	0,5	13,75	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,362	3,927	12,250	0,000
15	1	14,50	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,351	3,925	12,807	0,024
16	1	15,50	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,337	3,922	13,496	0,022
17	1	16,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,322	3,918	14,184	0,021
18	1	17,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,308	3,913	14,871	0,020
19	1	18,50	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	0,985	65	0	0	1,294	3,909	15,559	0,019
20	1	19,50	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,279	3,903	16,245	0,018
21	1	20,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,265	3,898	16,935	0,016
22	1	21,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,251	3,892	17,627	0,015
23	1	22,50	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,238	3,885	18,318	0,014
24	0,5	23,25	1,294	0,479	0,114	0,698	14,957	16,557	0,985	65	0	0	1,227	3,879	18,836	0,007
25	1	24,00	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,217	3,874	19,375	0,014
26	1	25,00	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,204	3,866	20,107	0,013
27	2	26,50	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,184	3,853	21,204	0,025

Total Penurunan Saat tahap Timbunan 2,0 m 0,7834

Penurunan Saat tahap Timbunan 2,5 m

NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + ΔP t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 ΔP_1		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	2,05	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	0,985	65	0	0	1,539	4,925	5,005	0,018
2	0,9	2,55	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	0,985	65	0	0	1,532	4,925	5,358	0,120
3	1	3,50	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,517	4,925	5,934	0,105
4	1	4,50	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,502	4,925	6,540	0,088
5	1	5,50	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,486	4,924	7,145	0,076
6	1	6,50	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,471	4,924	7,751	0,067
7	1	7,50	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,456	4,923	8,356	0,060
8	1	8,50	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,441	4,922	8,961	0,054
9	1	9,50	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,426	4,920	9,565	0,050
10	1	10,50	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,411	4,919	10,170	0,046
11	1	11,50	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	0,985	65	0	0	1,396	4,916	10,896	0,000
12	1	12,50	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,381	4,914	11,746	0,000
13	1	13,50	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,366	4,911	12,595	0,000
14	0,5	14,25	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,355	4,908	13,231	0,000
15	1	15,00	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,344	4,905	13,787	0,031
16	1	16,00	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,329	4,901	14,475	0,029
17	1	17,00	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,315	4,896	15,162	0,028
18	1	18,00	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,301	4,890	15,848	0,026
19	1	19,00	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	0,985	65	0	0	1,286	4,884	16,534	0,025
20	1	20,00	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,272	4,878	17,220	0,024
21	1	21,00	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,258	4,870	17,907	0,021
22	1	22,00	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,244	4,862	18,597	0,020
23	1	23,00	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,231	4,854	19,287	0,019
24	0,5	23,75	1,294	0,479	0,114	0,698	14,957	16,557	0,985	65	0	0	1,220	4,847	19,803	0,009
25	1	24,50	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,210	4,840	20,341	0,018
26	1	25,50	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,197	4,829	21,070	0,018
27	2	27,00	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,177	4,813	22,164	0,033

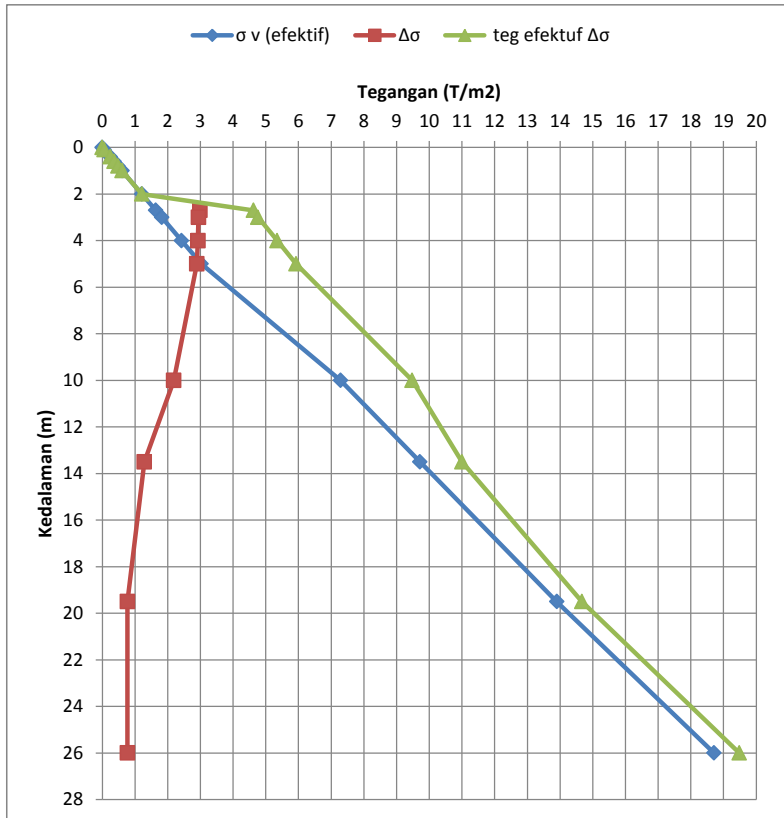
Total Penurunan Saat tahap Timbunan 2,5 m 0,9857

Penurunan Saat tahap Timbunan 3,1 m

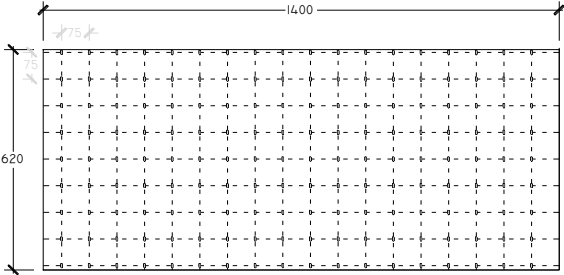
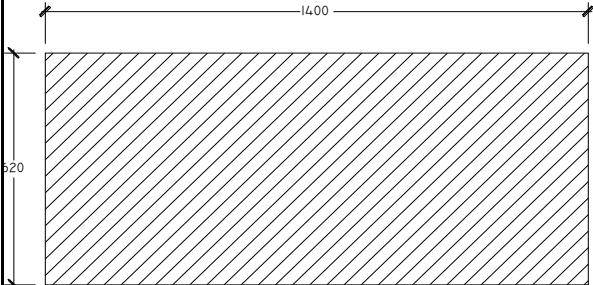
NO	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cs	γ atau γ' t/m ³	P ₀ ' t/m ²	P _c ' t/m ²	Timbunan Kanan						P ₀ ' + Δ P t/m ²	Sc m
									q ₀	B ₁	B ₂	α_1	α_2	2 Δ P ₁		
									t/m ²	m	m	radia	radian	t/m ²		
1	0,1	2,55	1,465	0,571	0,134	1,606	0,0803	1,6803	0,985	65	0	0	1,532	5,910	5,990	0,020
2	0,9	3,05	1,465	0,571	0,134	0,606	0,4333	2,0333	0,985	65	0	0	1,524	5,910	6,343	0,136
3	1	4,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,009	2,609	0,985	65	0	0	1,509	5,910	6,919	0,120
4	1	5,00	1,465	0,571	0,134	0,606	1,615	3,215	0,985	65	0	0	1,494	5,909	7,524	0,102
5	1	6,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,221	3,821	0,985	65	0	0	1,479	5,909	8,130	0,089
6	1	7,00	1,465	0,571	0,134	0,606	2,827	4,427	0,985	65	0	0	1,464	5,908	8,735	0,079
7	1	8,00	1,465	0,571	0,134	0,606	3,433	5,033	0,985	65	0	0	1,448	5,907	9,340	0,071
8	1	9,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,039	5,639	0,985	65	0	0	1,433	5,906	9,945	0,065
9	1	10,00	1,465	0,571	0,134	0,606	4,645	6,245	0,985	65	0	0	1,418	5,904	10,549	0,060
10	1	11,00	1,465	0,571	0,134	0,606	5,251	6,851	0,985	65	0	0	1,403	5,902	11,153	0,055
11	1	12,00	0,794	0,000	0,000	0,852	5,98	7,58	0,985	65	0	0	1,388	5,899	11,879	0,000
12	1	13,00	0,794	0,000	0,000	0,852	6,832	8,432	0,985	65	0	0	1,373	5,896	12,728	0,000
13	1	14,00	0,794	0,000	0,000	0,852	7,684	9,284	0,985	65	0	0	1,359	5,892	13,576	0,000
14	0,5	14,75	0,794	0,000	0,000	0,852	8,323	9,923	0,985	65	0	0	1,348	5,888	14,211	0,000
15	1	15,50	1,36	0,539	0,130	0,692	8,882	10,482	0,985	65	0	0	1,337	5,885	14,767	0,038
16	1	16,50	1,36	0,539	0,130	0,692	9,574	11,174	0,985	65	0	0	1,322	5,879	15,453	0,036
17	1	17,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,266	11,866	0,985	65	0	0	1,308	5,873	16,139	0,034
18	1	18,50	1,36	0,539	0,130	0,692	10,958	12,558	0,985	65	0	0	1,294	5,867	16,825	0,032
19	1	19,50	1,36	0,539	0,130	0,692	11,65	13,25	0,985	65	0	0	1,279	5,859	17,509	0,031
20	1	20,50	1,36	0,539	0,130	0,692	12,342	13,942	0,985	65	0	0	1,265	5,851	18,193	0,029
21	1	21,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,037	14,637	0,985	65	0	0	1,251	5,842	18,879	0,026
22	1	22,50	1,294	0,479	0,114	0,698	13,735	15,335	0,985	65	0	0	1,238	5,832	19,567	0,024
23	1	23,50	1,294	0,479	0,114	0,698	14,433	16,033	0,985	65	0	0	1,224	5,822	20,255	0,023
24	0,5	24,25	1,294	0,479	0,114	0,698	14,957	16,557	0,985	65	0	0	1,214	5,813	20,770	0,011
25	1	25,00	1,217	0,473	0,116	0,74	15,501	17,101	0,985	65	0	0	1,204	5,805	21,306	0,023
26	1	26,00	1,217	0,473	0,116	0,74	16,241	17,841	0,985	65	0	0	1,190	5,792	22,033	0,022
27	2	27,50	1,217	0,473	0,116	0,74	17,351	18,951	0,985	65	0	0	1,171	5,772	23,123	0,041

Total Penurunan Saat tahap Timbunan 3,1 m 1,1670

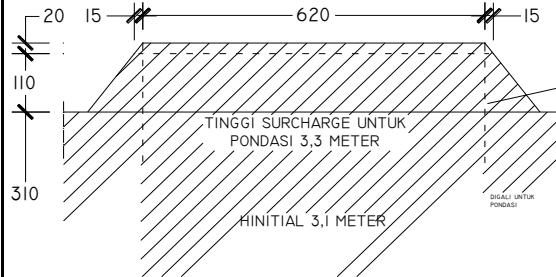
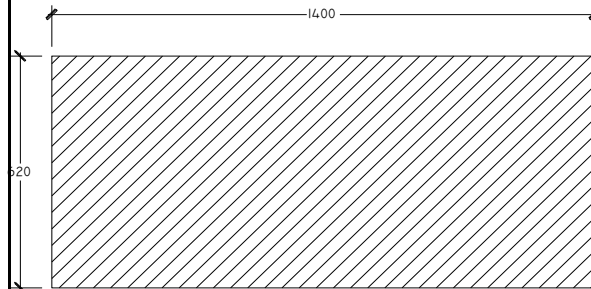
GRAFIK MODULUS GESER



Volume Pekerjaan

No.	Pekerjaan	Volume	Satuan
A Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah			
1	Pemasangan PVD 	n titik = 162 buah	
2	Galian Tanah Keras 	p = 16 m l = 6,2 m t = 2 m Σ Volume = 198,4 m ³	

3 Urugan Sirtu dan Pematatan



$$p = 16 \text{ m}$$

$$l = 6,2 \text{ m}$$

$$t = 2 \text{ m}$$

$$\text{Volume 1} = 198,4 \text{ m}^3$$

$$p = 18 \text{ m}$$

$$l = 8,2 \text{ m}$$

$$A1 = 147,6 \text{ m}^2$$

$$p = 16 \text{ m}$$

$$l = 6,2 \text{ m}$$

$$A2 = 99,2 \text{ m}^2$$

$$t = 3,3 \text{ m}$$

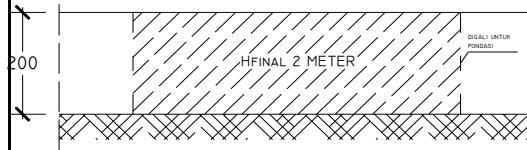
$$\text{Volume 2} = 0,5(A1+A2) \times t$$

$$= 407,22 \text{ m}^3$$

$$\Sigma \text{ Volume} = \text{Volume 1} + \text{Volume 2}$$

$$605,62 \text{ m}^3$$

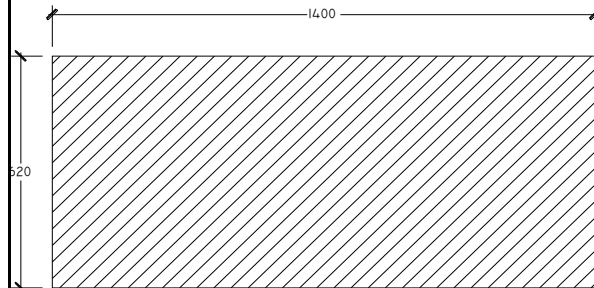
4 Beton K450 untuk Balok dan Pilecap



$$\begin{aligned}
 p &= 16 \quad \text{m} \\
 l &= 6,2 \quad \text{m} \\
 t &= 2 \quad \text{m} \\
 \Sigma \text{ Volume} &= 198,4 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

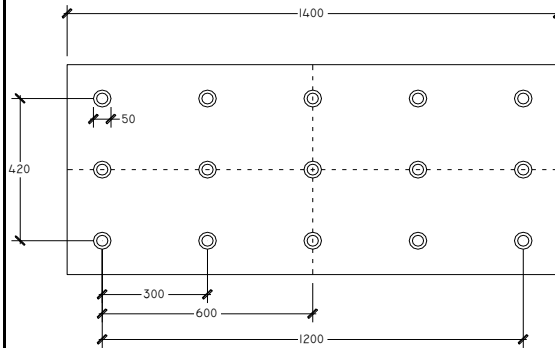
B Pondasi Tiang tanpa Perbaikan Tanah

1 Galian Tanah Keras



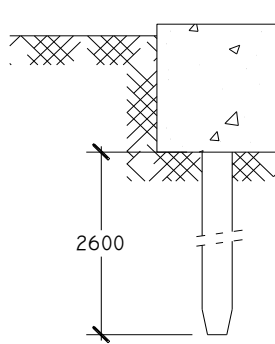
$$\begin{aligned}
 p &= 16 \quad \text{m} \\
 l &= 6,2 \quad \text{m} \\
 t &= 2 \quad \text{m} \\
 \Sigma \text{ Volume} &= 198,4 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

2 Penyambungan Tiang Pancang



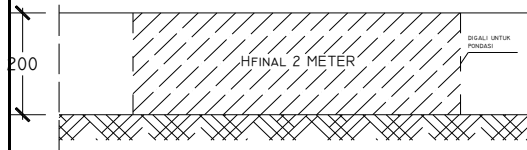
p = 26 m
p tiap tiang = 13 m
n sambung = 15 buah

3 Pemancangan Tiang Tegak



$$p = 26 \text{ m}$$

4 Beton K450 untuk Balok dan Pilecap



$$p = 16 \text{ m}$$

$$l = 6,2 \text{ m}$$

$$t = 2 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{ Volume} = 198,4 \text{ m}^3$$

Bill of Quantity

No	Pekerjaan	Volume	Satuan
A	Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah		
1	Pemasangan PVD	162 buah	
2	Galian Tanah Keras	198,4 m3	
3	Urugan Sirtu dan Pemadatan	605,62 m3	
4	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4 m3	
B	Pondasi Tiang tanpa Perbaikan Tanah		
1	Galian Tanah Keras	198,4 m3	
2	Penyambungan Tiang Pancang	15 buah	
3	Pengadaan Tiang Pancang	30 buah	
4	Pemancangan Tiang Tegak	26 m'	
5	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4 m3	

Analisis Biaya Pelaksanaan Pondasi

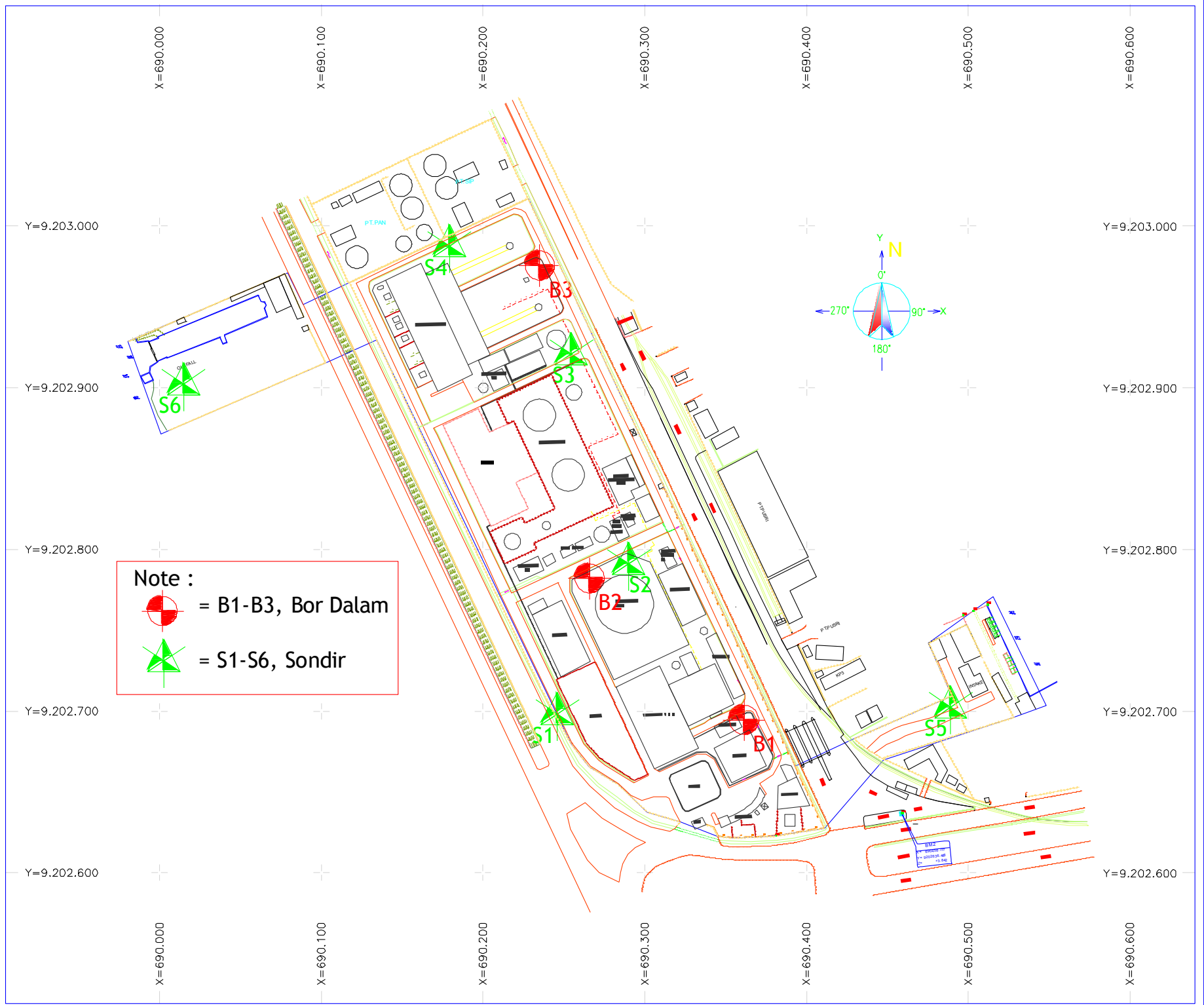
No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
A	Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah				
1	Pemasangan PVD	162	buah	Rp 2.941.959	Rp 476.597.392
2	Galian Tanah Keras	198,4	m3	Rp 66.349	Rp 13.163.657
3	Urugan Sirtu dan Pemadatan	605,62	m3	Rp 293.556	Rp 177.783.367
4	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4	m3	Rp 6.182.672	Rp 1.226.642.186
Jumlah					Rp 1.894.186.602
+PPN10%					Rp 189.418.660
Total Jumlah					Rp 2.083.605.262
Indeks Kemahalan (IK) Kemenhub Kota Surabaya					0,9260
Total Jumlah Terkoreksi = Total Jumlah x IK					Rp 1.929.418.473

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
B	Pondasi Tiang tanpa Perbaikan Tanah				
1	Galian Tanah Keras	198,4	m3	Rp 66.349	Rp 13.163.657
2	Penyambungan Tiang Pancang	15	buah	Rp 601.473	Rp 9.022.096
3	Pengadaan Tiang Pancang	30	buah	Rp 5.700.000	Rp 171.000.000
4	Pemancangan Tiang Tegak	26	m'	Rp 596.562	Rp 15.510.605
5	Beton K450 untuk Balok dan Pilecap	198,4	m3	Rp 6.182.672	Rp 1.226.642.186
Jumlah					Rp 1.435.338.545
+PPN10%					Rp 143.533.854
Total Jumlah					Rp 1.578.872.399
Indeks Kemahalan (IK) Kemenhub Kota Surabaya					0,9260
Total Jumlah Terkoreksi = Total Jumlah x IK					Rp 1.462.035.842

NOTES :

PEKERJAAN

LOKASI



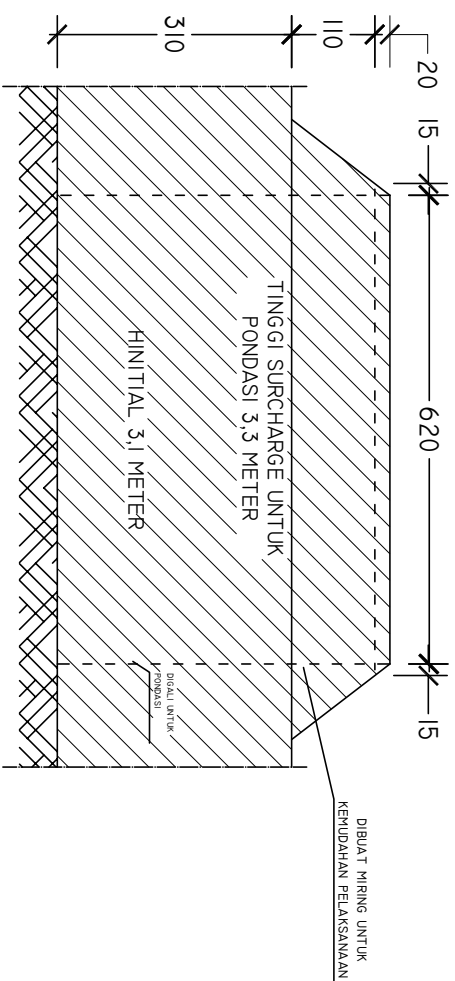
Note :



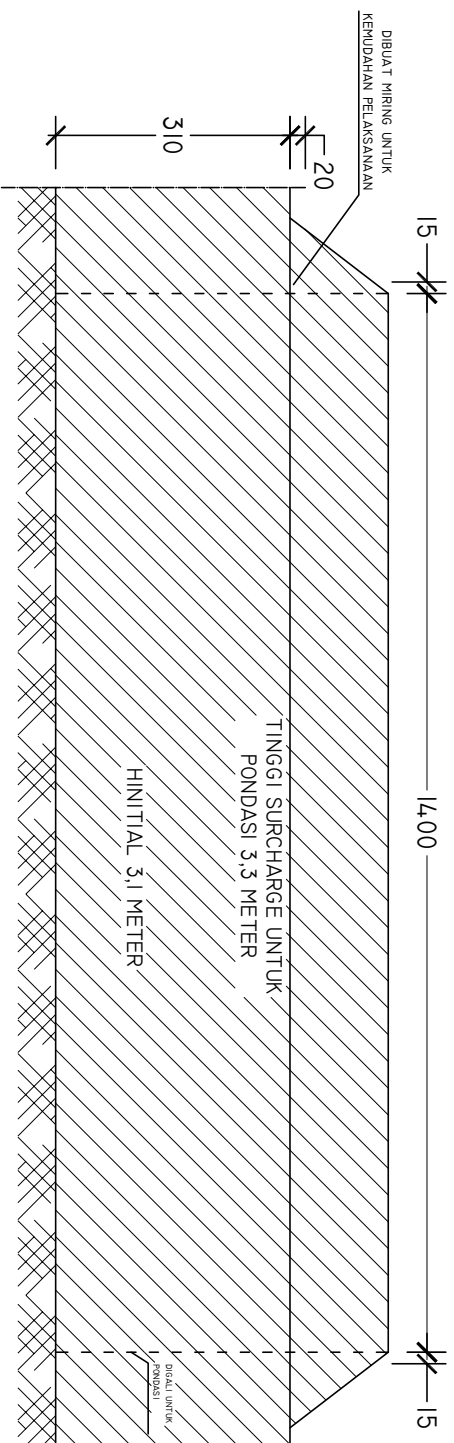
= B1-B3, Bor Dalam



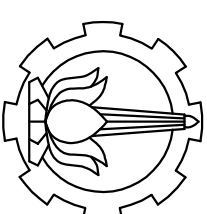
= S1-S6, Sondir



Potongan Melintang Surcharge
Skala 1:100



Potongan Memanjang Surcharge
Skala 1:100



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

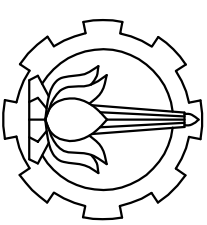
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, MEng
Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PHD.

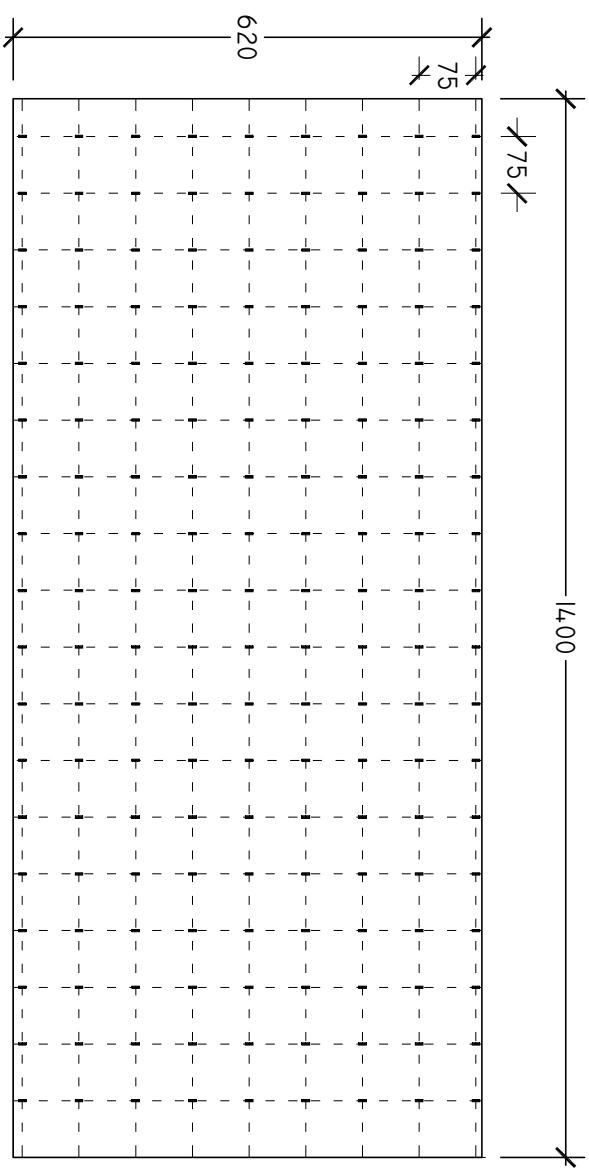
DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Potongan Melintang Surcharge	1 : 100
2.	Potongan Memanjang Surcharge	1 : 100
NO. GAMBAR		

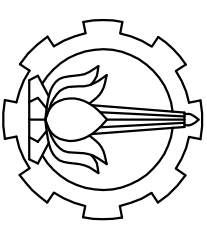


PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



Denah Prefabricated Vertical Drain
Skala 1:100

MATA KULIAH		
TUGAS AKHIR		
DOSEN PEMBIMBING		
Ir. SUWARNO, MEng Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PHD.		
DIGAMBAR		
ARGHA NRP : 3114105008		
NO	JUDUL	SKALA
1.	Denah Prefabricated Vertical Drain	1 : 100
NO. GAMBAR		



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

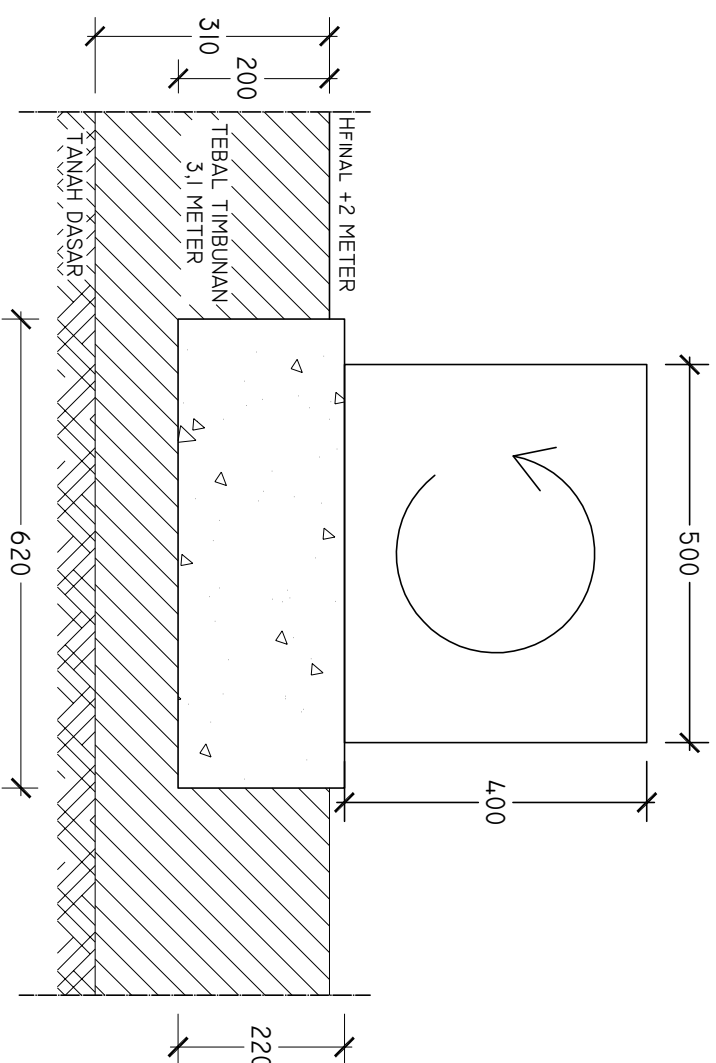
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, MEng
Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PhD.

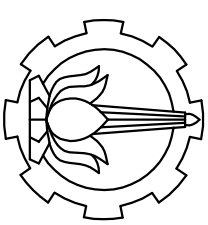
DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Potongan Melintang Pondasi Dangkal	1 : 100
NO. GAMBAR		



Potongan Melintang Pondasi Dangkal
Skala 1:100



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

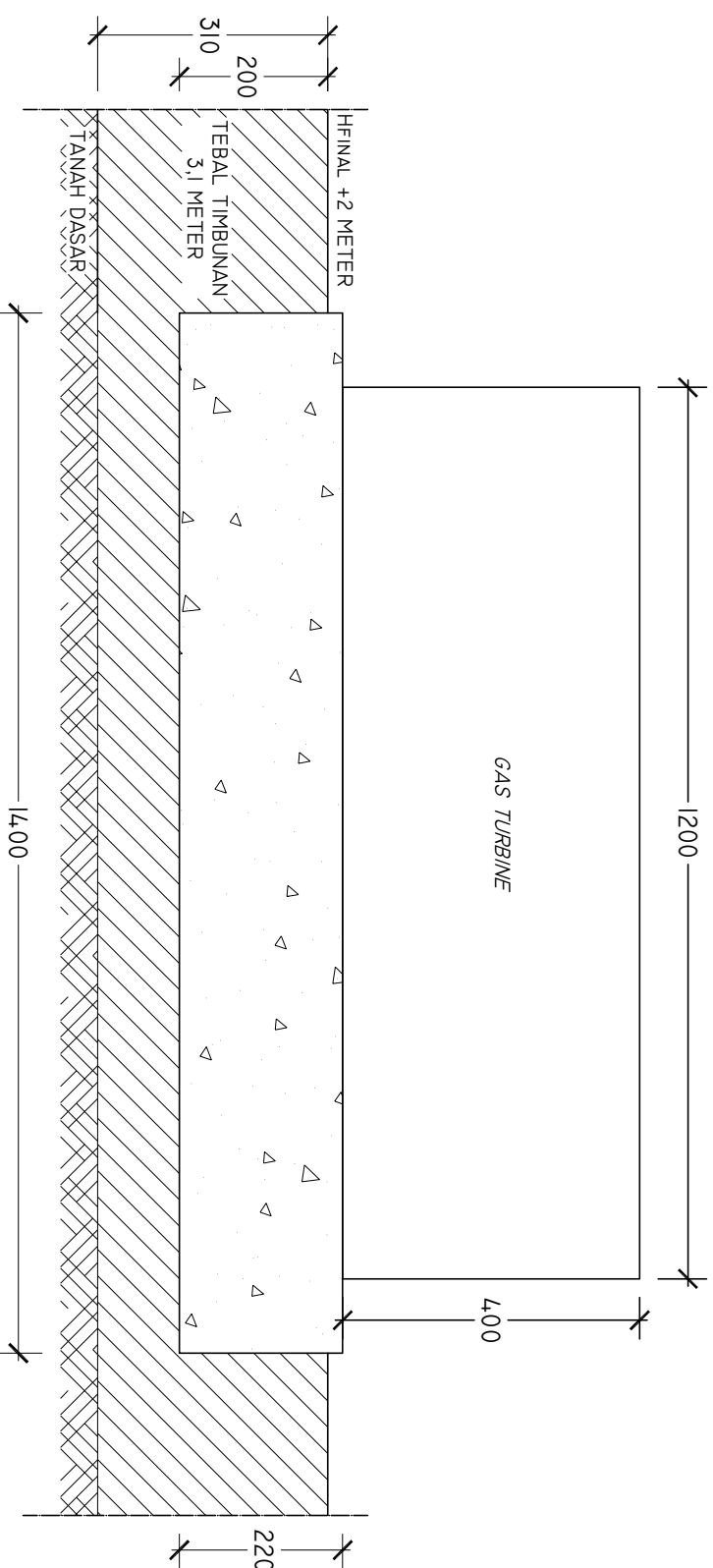
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, M.Eng
Ir. ANANTA SIGIT SIDDHARTA, M.Sc., Ph.D.

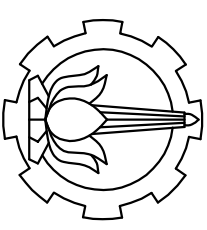
DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Potongan Memanjang Pondasi Dangkal	1 : 100
NO. GAMBAR		



Potongan Memanjang Pondasi Dangkal
Skala 1:100



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

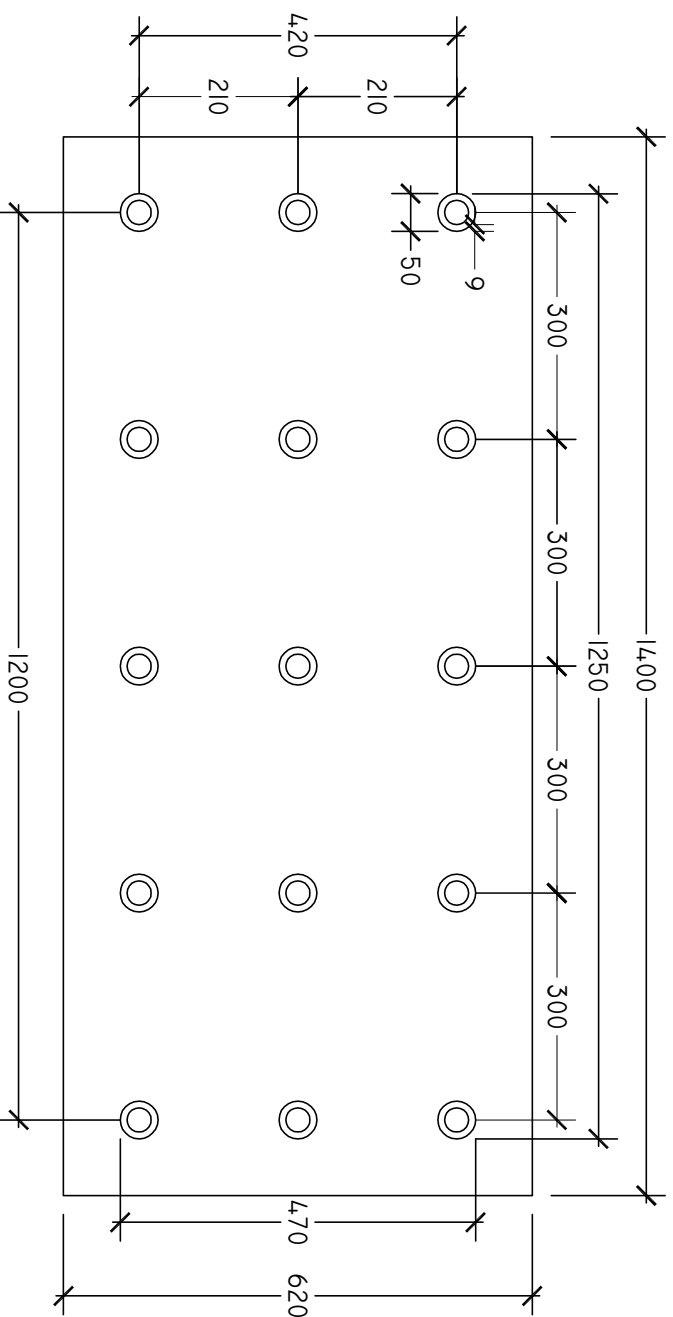
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, MEng
Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PhD.

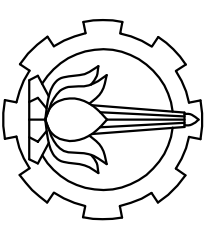
DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Rencana Pemasangan Tiang Pancang	1 : 100
NO. GAMBAR		



Rencana Pemasangan Tiang Pancang
Skala 1:100



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

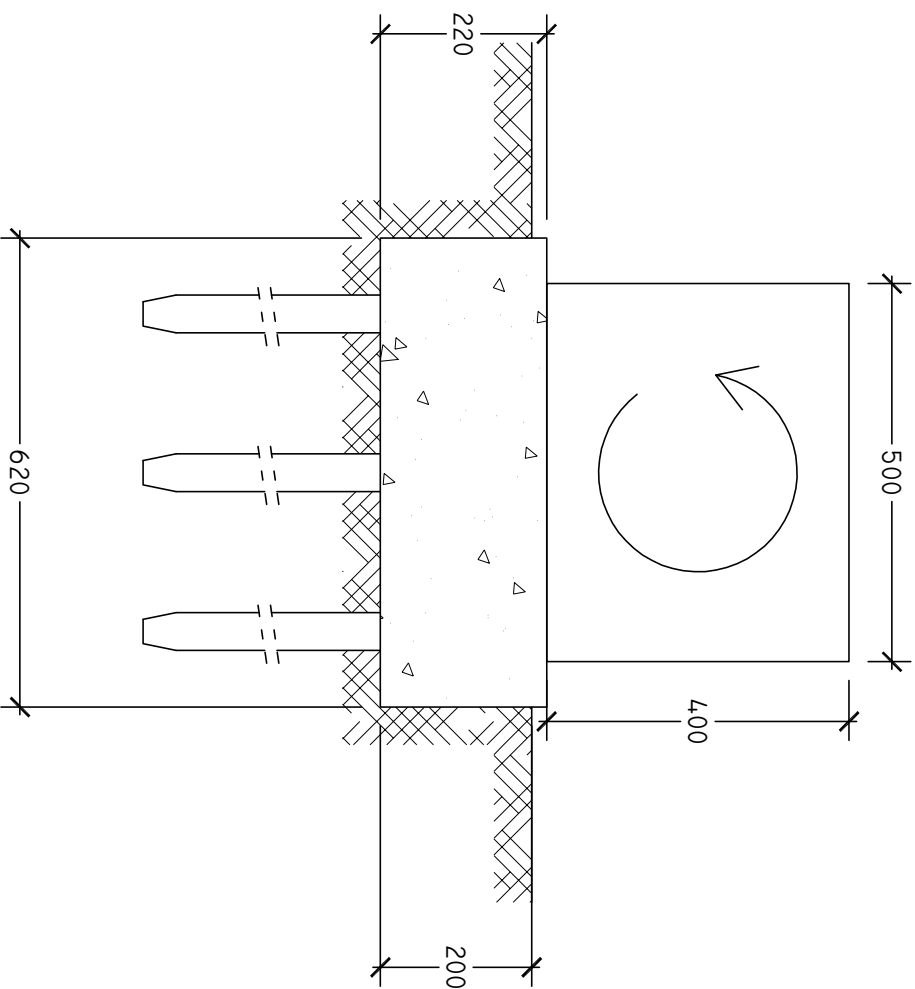
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, MEng
Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PHD.

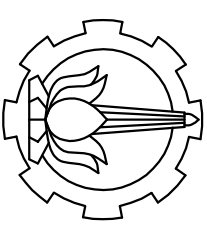
DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Potongan Melintang Pondasi Dalam	1 : 100
NO. GAMBAR		



Potongan Melintang Pondasi Dalam
Skala 1:100



PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

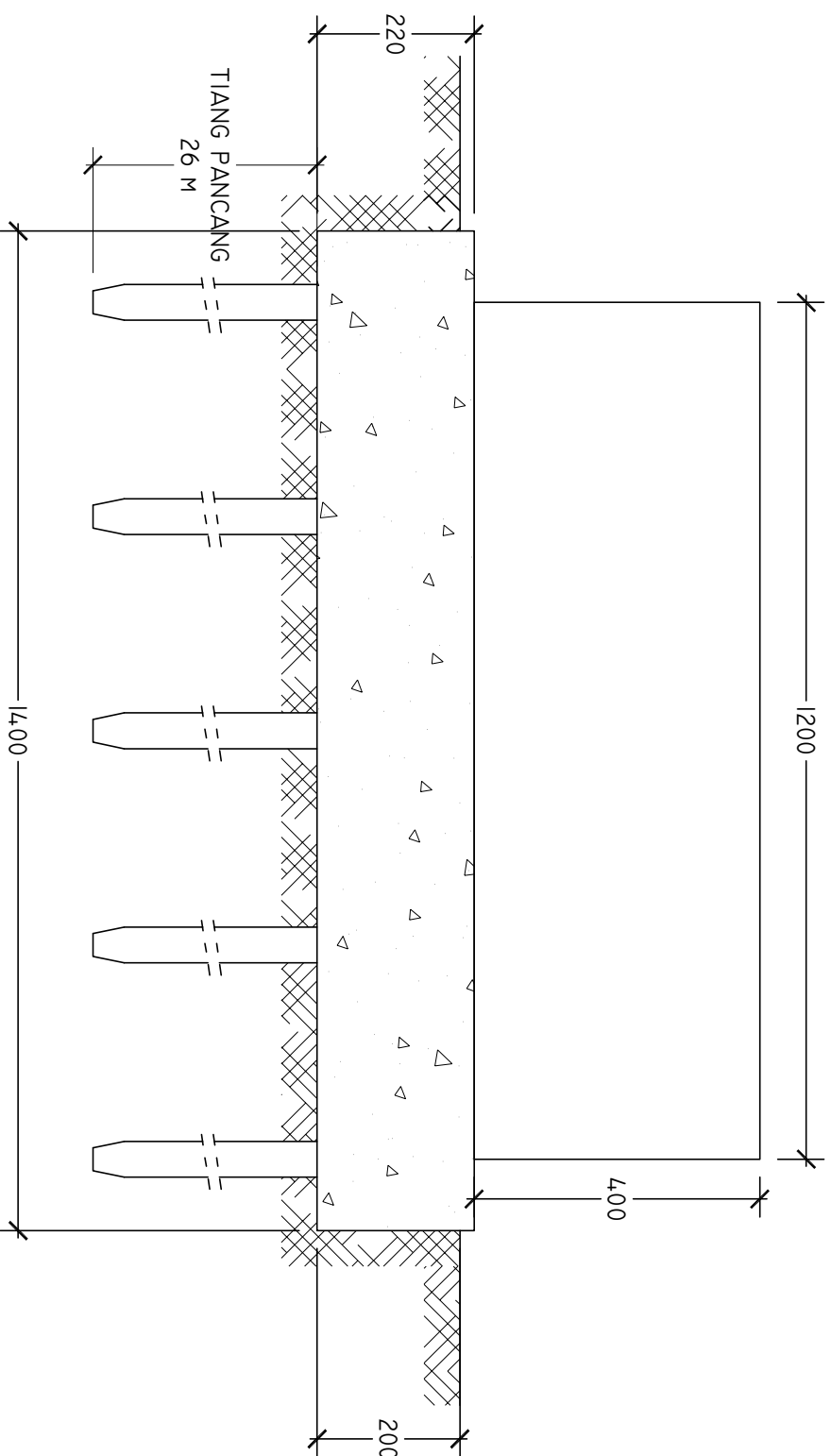
DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, MEng
Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA, M.Sc., PhD.

DIGAMBAR

ARGHA
NRP : 3114105008

NO	JUDUL	SKALA
1.	Potongan Memanjang Pondasi Dalam	1 : 100
NO. GAMBAR		



Potongan Memanjang Pondasi Dalam
Skala 1:100



LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5996879, Fax.031-5947284



Form TA-04

rev01

NAMA PEMBIMBING	: IR. SUWARNO MUNG
NAMA MAHASISWA	: ARSHA
NRP	: 3114105008
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERBAIKAN TAWAH LUTAK PADA PROYEK PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS GAS TURBINE PLT PERAK SURABAYA
TANGGAL PROPOSAL	: 19 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	: 012016/112-3.1.1/PP-05-02-00/2016

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	16/3 2016	Korelasi Data Cv, layout dan Data Fluktuasi muka air.		SW
2.	23/3 2016	Hitungan beban pondasi Hitungan penunman.		SW
3.	24/3 2016	Penunman Bertahap		SW
4.	30/3 2016	Rehitungan penunman tanpa PVD		SW
5.	13/4 2016	Hitungan dengan konsolidasi		SW
6.	21/4 2016	Pentahapan preloading		SW
7.	27/4 2016	Revisi Geotekstik perkuatan		SW
8.	11/5 2016	Revisi Cek daya dukung		SW
9.	17/5 2016	Review BAB I - V		SW
10.	26/5 2016	Review Full		SW
Acc				



PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5996879, Fax.031-5947284

Form TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir. ANANTA SIGIT SIDHARTA MSc. PhD
NAMA MAHASISWA	: ARGHA
NRP	: 3114105008
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK PEMBANGUNAN PONDASI DINAMIS GAS TURBINE PLTS PERAK SURABAYA
TANGGAL PROPOSAL	: 19 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	: 0/2016/ IT2-3-1-1/ PP-05.02.001/2016

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	25/2 2016	1. Hitungan Beban 2. Hitungan momen Inertia	1. Hitungan F_t Amplitudo untuk Horizontal, Vertikal, Rocking.	
2.	3/3 2016	1. Revisi Dimensi		
3.	10/3 2016	1. K gunakan 40 stiff clay 2. Ef, lebar pondasi kelompok 3. Material bahan & material tanah		
4.	1/4 2016			
5.	8/4 2016	1. Kopel Pondasi Baykal		
6.	15/4 2016	1. Analisis pondasi Baykal 2. Revisi Kecepatan 3.		
7.	22/4 2016	1. Cek kedalaman Hitungan G 2. Lengkapi grafik. 3. Review Bab I - IV	ACC	

BIODATA PENULIS



Argha

Lahir di Kota Yogyakarta pada tanggal 21 November 1992, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Sindet lulus pada tahun 2005, SMPN 1 Imogiri lulus pada tahun 2008, SMAN 5 Yogyakarta lulus pada tahun 2011 dan Diploma 3 Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada lulus pada tahun 2014. Di tahun yang sama, penulis melanjutkan studi untuk jenjang sarjana

di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil melalui program lintas jalur dan terdaftar dengan NRP 3114105008.

Di jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil minat geoteknik dalam menempuh tugas akhir dengan judul **“Perbaikan Tanah Lunak pada Proyek Pembangunan Pondasi Dinamis Gas Turbine PLTG Perak Surabaya”**. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberi kritik dan saran dapat berkorespondensi melalui alamat surel arghabantul@gmail.com.